



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

**ANÀLISI DE LES OBSERVACIONS DE VENT
REALITZADES AL LITORAL CATALÀ DES DE BOIES
OCEANOGRÀFIQUES**

Autor/a

Arnau Torra Trepap

Tutor/a

**Manuel Espino Infantes
Jordi Cateura Sabrí**

Departament

Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (EHMA)

Intensificació

Intensificació en Enginyeria Marítima

Data

Juny 2011

Anàlisi de les observacions de vent realitzades al litoral català des de boies oceanogràfiques

Autor: Arnau Torra Trepà

Tutors: Manuel Espino Infantes, Jordi Cateura Sabri

En l'actualitat, els mars i oceans, especialment la zona costanera, tenen un paper important en molts aspectes de la societat. El comportament del mar i de totes les forces que l'afecten influeix de forma decisiva en el desenvolupament de totes les activitats i infraestructures que s'ubiquen a la costa.

El vent que es dona en les superfícies marines pròximes a la costa és una variable extremadament important. A més d'influir directament en les activitats i infraestructures, també ho fa de forma indirecta sobre altres aspectes, com per exemple en la generació d'onatge i corrents. Les intensitats de vent que es donen en la superfície terrestre són diferents de les que es donen a la superfície marina. La rugositat que introdueix l'onatge o la manca de barreres orogràfiques en la superfície marina, així com la presència d'obstacles i la rugositat del terra són alguns dels aspectes que causen aquestes diferències.

En aquesta tesina es comparen les mesures de vents que s'estan realitzant en l'actualitat per les boies oceanogràfiques de la xarxa XIOM (Xarxes d'Instrumentes Oceanogràfics i Meteorològics), amb les de les estacions meteorològiques properes. L'objectiu és caracteritzar aquestes mesures sobre el mar, i determinar la seva relació amb les mesures realitzades a terra en el mateix instant de temps, en funció de les condicions d'onatge existents.

Primerament, es realitza un estudi de caràcter qualitatiu en el qual es recopilen i s'analitzen dades de vent corresponents a temporals marítims de diferents característiques. Els temporals objecte d'estudi s'escullen tenint en compte les característiques dels principals tipus de temporals marítims que es donen a la costa catalana. També s'inclouen en l'estudi situacions de calma marítima i vents intensos, amb l'objectiu d'accentuar i fer notòries les diferències entre ambdues situacions. Amb les dades dels mateixos temporals, també es realitza un estudi probabilístic, l'objectiu del qual és determinar la probabilitat que hi hagi una determinada correlació entre les diferents mesures de vent, donada una situació de temporal marítim. Finalment es du a terme un estudi de caràcter determinista. El seu objectiu és ajustar una fórmula que permeti estimar les intensitats de vent que es donen a la superfície marina, a partir de les intensitats mesurades a terra i l'alçada d'ona significant. Per fer-ho s'analitza una sèrie de dades corresponents a tot un any astronòmic.

En els resultats dels estudis citats anteriorment s'observa que el vent mesurat sobre el mar sempre és superior al vent mesurat sobre terra. Tot i així, la relació que guarden ambdós registres presenta una irregularitat molt marcada que impossibilita establir cap tipus de correlació matemàtica entre ells. També s'observa que les boies reflecteixen fidelment les característiques dels vents associats a cada tipus de temporal. Aquest fet, juntament amb la manca d'apreciació de diferències en els registres de vent que siguin atribuïbles l'alçada d'ona, serveix per concloure que les intensitats de vent registrades per les boies són fiables i no es veuen influenciades per l'onatge existent en cada moment.

Analysis of wind observations in the Catalan sea shore from oceanographic buoys

Author: Arnau Torra Trepas

Tutors: Manuel Espino Infantes, Jordi Cateura Sabri

Nowadays seas and oceans, especially next to the sea shore, play a very important role in lots of different aspects of our society. Sea behaviour and all the strengths that influence it definitely affect and condition all the human activities carried out and infrastructures placed next to the sea shore areas.

Wind that blows over the sea surface next to the shore is an extremely important variable. Apart from its direct influence over human activities and infrastructures it has an indirect influence to wave generation and ocean currents. Wind intensity on the sea surface is different from its intensity on the land surface. Some of the aspects causing this difference are the roughness produced by waves and the lack of orographic barriers on the sea surface, the same as the presence of obstacles and roughness of the land surface.

In this study the data from the sea meteorological stations located on buoys of the XIOM (Meteorological and Oceanographic Instruments Network) network is compared with the data from the land meteorological stations that are close to buoys. The main goal is to determine the measurement characteristics and relation between the sea and land data, recorded at the same moment, depending on existing sea swell conditions.

Firstly, a qualitative study is realized in which the wind data from different storm periods is collected and analyzed. The storms under study are chosen including the most representative types of storms that occur in the Catalan sea shore. In this study situations with calmed sea and intense wind are also included in order to emphasize and make noticeable that high wind intensities are not always related to high waves. A probabilistic study is also carried out with the same data. Its objective is to find out the probability that there is a determined correlation between different wind measurements on a defined storm situation. Finally, a deterministic study is carried out. Its objective is to set a numerical formula based on the land wind intensity measures and the significant wave height that allows an estimation of the wind intensities produced over the sea surface. The data series used for this study belongs to one complete astronomic year.

The results of these studies show that the wind intensity is always higher over the sea surface than over the land surface. However, the irregularity between the measurements obtained is so high that it makes impossible to establish any mathematical correlation between them. Also is observed that the buoys accurately show the characteristics of the winds associated with each type of storm. This fact, together with the non-appreciation of differences in the wind records that are attributable to the wave height, lead to conclude that buoys wind registers are reliable and are not influenced by existing sea swell conditions.

AGRAÏMENTS

- **Xarxa d'Instruments Meteorològics i Oceanogràfics (XIOM)**
Per facilitar les dades de les boies meteorològiques i d'onatge del Golf de Roses, el Delta de la Tordera (Blanes), el Delta del Llobregat, i Cap Tortosa.
- **Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)**
Per facilitar les dades de les estacions meteorològiques de St. Pere Pescador, Malgrat de Mar, i Illa de Buda, totes elles pertanyents a la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMEC).
- **Departament de Medi Ambient del Port de Barcelona**
Per facilitar les dades corresponent a l'estació meteorològica de la Sirena.
- **En qualitat de tutors de la present tesina: Jordi Cateura i Manuel Espino**
Per la dedicació, suport tècnic, i disponibilitat mostrada en tot moment.

Memòria

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	5
2. ESTAT DE L'ART	7
2.1. Estudis de caràcter general	7
2.2. Estudis de caràcter específic.....	8
2.3. Clima i temporals	9
2.3.1. Caracterització general del clima a Catalunya	9
2.3.2. Temporals característics a la costa catalana	10
3. OBJECTIUS	15
4. METODOLOGIA.....	17
4.1. Xarxes de mesura	17
4.1.1. Xarxes utilitzades	17
4.1.2. Grups d'estacions de mesura	25
4.2. Períodes d'estudi escollits	26
4.2.1. Temporals de llevant	26
4.2.2. Temporals de ponent	28
4.2.3. Calma marítima	31
4.2.4. Sèrie anual	32
4.3. Estudis realitzats.....	32
4.3.1. Patrons generals de comportament en períodes de temporal.....	33
4.3.2. Estudi probabilístic	38
4.3.3. Patrons generals de comportament en sèries llargues de temps.....	41
4.3.4. Determinació d'una fórmula empírica que permeti estimar els vents sobre el mar	44

5. RESULTATS	49
5.1. Patrons generals de comportament en períodes de temporal	49
5.1.1. Estudis de vents i onatge	49
5.1.2. Estudi de les direccions	55
5.2. Estudi probabilístic	58
5.3. Patrons generals de comportament en sèries llargues de temps	61
5.4. Determinació d'una fórmula empírica que permeti estimar els vents sobre el mar	64
6. DISCUSSIÓ DE RESULTATS I CONCLUSIONS	67
6.1. Patrons generals de comportament en períodes de temporal	67
6.1.1. Discussió dels estudis de vents i onatge	67
6.1.2. Discussió de l'estudi de les direccions	68
6.1.3. Conclusions	68
6.2. Estudi probabilístic	69
6.2.1. Discussió.....	69
6.2.2. Conclusions	70
6.3. Patrons generals de comportament en sèries llargues de temps	70
6.3.1. Discussió.....	70
6.3.2. Conclusions	71
6.4. Determinació d'una fórmula empírica que permeti estimar el vent sobre el mar	71
6.4.1. Discussió.....	71
6.4.2. Conclusions	72
6.5. Conclusions generals	72

7. BIBLIOGRAFIA	75
7.1. Bibliografia.....	75
7.2. Recursos web.....	76

1. INTRODUCCIÓ

En la present tesina es fa una comparació de les mesures de vents que s'estan realitzant en l'actualitat per les boies oceanogràfiques de la xarxa XIOM i les estacions meteorològiques properes. L'objectiu principal és caracteritzar aquestes mesures sobre el mar, i determinar la seva relació amb les mesures realitzades a terra en el mateix instant de temps, en funció de les condicions d'onatge existents.

En l'actualitat, els mars i oceans, especialment la zona costanera, tenen un paper important en molts aspectes de la societat. Activitats com el comerç marítim, la pesca, l'extracció i/o tractament d'hidrocarburs, el turisme, o el lleure en general, es desenvolupen sovint en zones marítimes pròximes a la costa. El comportament del mar i de totes les variables que el condicionen influeix de forma decisiva en el desenvolupament de totes aquestes activitats. Per tot això és indispensable un coneixement molt acurat del medi, especialment en zones amb un gran nombre de kilòmetres de costa com és el cas de la Península Ibèrica o més concretament Catalunya.

Variables com l'onatge han estat àmpliament estudiades, ja que és evident que influeixen de forma directa en totes les activitats i infraestructures ubicades a la costa. Més recentment s'han estudiat també aspectes com el transport longitudinal de sediments, les corrents oceàniques o les corrents de retorn.

El vent que es dona en la superfície marines pròximes a la costa és una variable extremadament important. A més d'influir directament sobre totes aquestes activitats, també ho fa de forma indirecta sobre altres aspectes, com per exemple en la generació d'onatge, o en els models climàtics. Les intensitats de vent que es donen en la superfície terrestre són diferents de les que es donen a la superfície marina. La rugositat que introdueix l'onatge o la manca de barreres orogràfiques en la superfície marina, així com la presència d'obstacles i la rugositat del terra són alguns dels aspectes que causen aquestes diferències (veure figura 1.1).

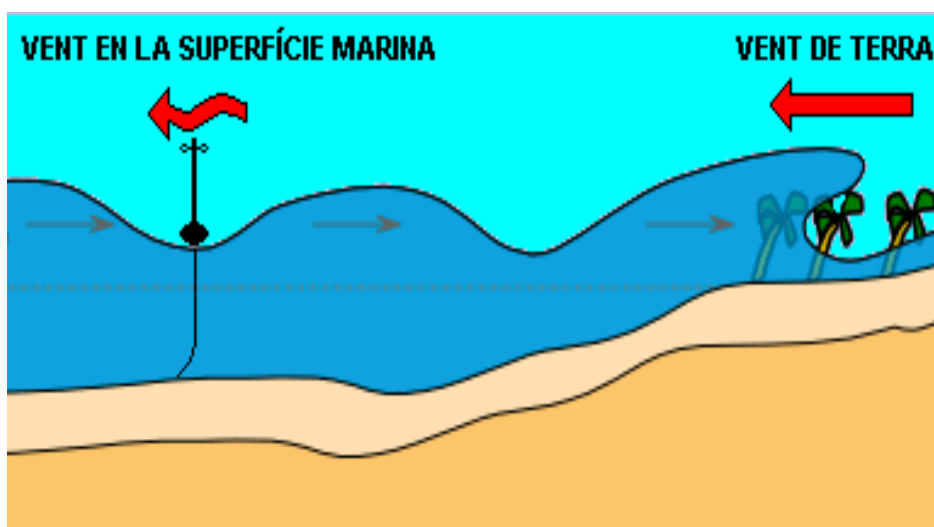


Fig. 1.1 Esquema de la distorsió que pateix el vent sobre el mar

Per poder dur a terme la tesina es comparen dades de vent simultànies de les estacions del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), l'Autoritat Portuària de Barcelona (APB) i la Xarxa d'Instruments Oceanogràfics i Meteorològics (XIOM).

Primerament es realitza un estudi qualitatiu utilitzant dades obtingudes durant temporals marítims. La situació de temporal marítim és la més interessant des d'un punt de vista enginyeril, ja que són aquests els períodes en que es donen les majors afectacions sobre les infraestructures i serveis costaners. En aquest tipus de situacions, és quan les alçades d'ona comencen a ser significatives. També té especial interès quantificar els possibles efectes que pot tenir el fet que les boies meteorològiques mesuren el vent alternativament en la cresta i el sinus de l'onada, provocant així l'efecte ombra de les onades, que pot causar fortes distorsions entre els vents mesurats sobre el mar i els vents mesurats a terra.

Els temporals objecte d'estudi s'escullen tenint en compte les característiques dels principals tipus de temporals marítims que es donen a la costa catalana. També s'inclouen en l'estudi situacions de calma marítima i vents intensos, amb l'objectiu d'accentuar i fer notòries les diferències entre ambdues situacions.

Paral·lelament, amb les mateixes dades de temporals que s'han utilitzat per a l'estudi qualitatiu, es realitza un estudi probabilístic. L'objectiu és determinar la probabilitat que hi hagi una correlació determinada entre les diferents mesures de vent, donada una situació de temporal marítim.

Finalment es du a terme un estudi de caràcter determinista. El seu objectiu és ajustar una fórmula que permeti estimar les intensitats de vent que es donen a la superfície marina a partir de les intensitats mesurades a terra i l'alçada d'ona significant. Per fer-ho s'analitza una sèrie de dades corresponents a tot un any astronòmic.

Com ja s'ha dit el coneixement acurat del vent que es dona sobre el mar és molt important. Aquesta variable té una influència directa en camps de la ciència i l'enginyeria tan diversos com:

- Estructures Offshore
La intensitat i la direcció del vent són importants ja que el vent que es dona sobre el mar és una de les principals accions que actuen sobre aquest tipus d'estructures.
- Activitats nàutiques pròximes a la zona costanera
La intensitat i la direcció del vent influeixen en la deriva de qualsevol embarcació, i per tant són importants de conèixer per saber la direcció que aquesta seguirà.
- Generació de models de predicció
El vent que es dona sobre el mar és una de les principals variables que cal tenir en compte a l'hora de generar alguns models científics de predicció, com poden ser els models meteorològics, els models de predicció d'onatge, o els models que descriuen l'evolució de taques de contaminant.

Si a més, es té en compte el fet que la xarxa de boies meteo-oceanogràfiques que permet fer mesures directes és molt escassa i difícil de mantenir, queda totalment justificat l'interès pràctic que poden tenir els resultats que s'obtinguin en aquesta tesina.

2. ESTAT DE L'ART

Aquest capítol recull el conjunt d'estudis, de caràcter general i també de caràcter més específic i local, que s'han realitzat sobre el tema de les intensitats de vent mesurades sobre el mar. També s'inclouen estudis més secundaris, que poden ajudar al lector a comprendre millor algunes de les decisions preses en el decurs de la tesina.

L'objectiu es contextualitzar el lector prèviament a començar el cos de la tesina.

2.1 ESTUDIS DE CARÀCTER GENERAL

La distribució vertical del vent o perfil de vents sobre la superfície del mar és un element molt important a tenir en compte, no només pel flux de *momentum* que exerceix sobre el mar, i que és l'element generador d'ones de vent i d'alguns corrents oceànics, sinó també per les accions que el propi vent fa sobre el vaixells i les estructures *off-shore*. Tot i no reflectir-se particularment en cap punt de la tesina, és necessari realitzar una primera aproximació als conceptes generals del comportament del vent (R.B.Stull, 1988).

En les proximitats de la superfície marina el perfil logarítmic determinat per Panofsky i Dutton (1984), ha estat extensament utilitzat degut al fet que és bastant acurat i també molt útil per a aplicacions enginyerils

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^P \quad (1) \text{ Perfil de vents logarítmic de Panofsky i Dutton}$$

on: u_1 és la velocitat del vent a l'altura z_1

u_2 és la velocitat del vent a l'altura z_2

P és un paràmetre funció de l'estabilitat atmosfèrica i de les característiques de la superfície marina

Es realitzà un segon estudi (S.A.Hsu et al, 1994) on es pretenia determinar el valor de l'exponent P amb la major exactitud possible. P fou calibrat en aigües del Golf de Mèxic tenint en compte una sèrie de variables atmosfèriques (velocitat i direcció del vent, pressió atmosfèrica i temperatures de l'aire i del mar) i partint d'una àmplia base de dades.

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^{0,11 \pm 0,03} \quad (2) \text{ Perfil de vents logarítmic de Hsu}$$

Aquesta és una fórmula àmpliament acceptada i utilitzada en l'actualitat.

2.2 ESTUDIS DE CARÀCTER ESPECÍFIC

Aquest apartat recull els resultats de diferents estudis realitzats amb objectius molt similars als d'aquesta tesina.

Els primers estudis que es van fer anaven encaminats a determinar la validesa de les mesures que prenen les boies en situacions de vent intens i grans alçades d'ona (Gillhousen, D.B, 1987). En l'estudi que s'acaba de citar s'examina si les diferències entre vents mesurats en boies i plataformes augmenten en augmentar també les intensitats de vent i les alçades d'ona, doncs això indicaria que el vasculament de la boia o *pitch* afecta negativament la qualitat de les mesures. Els resultats que s'obtenen mostren que per a alçades d'ona inferiors a 11m, els angles es mantenen per sota de 10° i conclou que el *pitch* de la boia no afecta les mesures de vent horitzontal. Així doncs, les diferències en la velocitat i la direcció del vent no estan relacionades amb el moviment de la boia, sinó amb discontinuïtats en el camp de vents.

Estudis posteriors sobre la fiabilitat de les mesures realitzades per les boies, demostren que hi ha potencials desviacions en les seves mesures (Taylor, P.K. et al, 1999)(Taylor, P.K. et al, 2001).

El primer estudi diu que assumint un perfil de vent logarítmic, una boia que puja i baixa verticalment mesurarà un vent promig inferior al vent a l'alçada mitja de mesura degut a l'efecte ombra de les onades. Aquest efecte és considerable en dades on la velocitat de vent és superior a cert llindar. Conclou que les dades mesurades per les boies són sospitoses per a velocitats de vent altes, degut a l'efecte ombra de les onades, i afegeix que de mitjana les mesures preses per les boies subestimen la intensitat real del vent en un 5%.

El segon estudi està fet en base a les dades de diferents tipus de boies i plataformes durant tres temporals amb vents intensos i alçades d'ona grans. Matisa una de les afirmacions fetes en l'estudi anterior, dient que en general les boies mesuren entre un 6 i 7% menys quan les velocitats de vent són altes i entre un 2 i un 3% quan els vents són inferiors a 20 m/s.

Més recentment s'han realitzat estudis on s'exposa que l'efecte del moviment vertical oscil·latori de la boia o *tilt*, que provoca petites variacions en l'alçada de mesura, té poca influència en els registres obtinguts; l'error esdevé significant en un petit percentatge dels casos i només per a ones altes (Marth, L. Et al, 2005).

Els estudis específics citats fins al moment comparen diferents dades mesurades sobre el mar. Tot i que en menor quantitat, també hi ha estudis que comparen dades mesurades a terra amb dades mesurades sobre el mar (Daniault, N. Et al, 1988). Aquest estudi es basa en les dades recopilades durant la campanya TOSCANE mitjançant una xarxa de 7 màstils de 10m a la línia de la costa, una boia que mesurava paràmetres meteorològics a 3m d'alçada fondejada a 6.3km de la costa i a 50m de profunditat, un avió que volava a una alçada mitjana de 100m, i una boia d'onatge fondejada a 60m de profunditat. En ell s'observà que, degut a efectes locals del camp de vents, el grau de correlació entre la velocitat del vent mesurada pel màstil i la mesurada per la boia no depèn de la distància entre ells. El principal resultat que es va assolir fou una fórmula que relaciona les velocitats del vent mesurades en els màstils i en la boia:

$$U_{\text{màstil}} = 1,09U_{\text{boia}} - 0,33 \quad (3) \text{ Correlació establerta per Daniault}$$

on $U_{\text{màstil}}$ és la velocitat del vent en un “màstil promig”
 U_{boia} és la velocitat del vent mesurada per la boia

Cal remarcar que aquesta correlació només es va establir per vents provinents del mar, ja que s'observà que els que bufen de terra es modifiquen massa en arribar a la línia de la costa i canviar les condicions de la superfície.

A més també es verificà que les mesures de la boia no es veuen afectades per l'alçada d'ona. L'alçada d'ona augmenta amb les intensitats de vent, per tant una major velocitat del vent s'hauria de traduir en una variació de la correlació establerta anteriorment, cosa que no succeïa.

A la costa catalana no es disposa sèries llargues de dades fins al 2008 (any en que la xarxa XIOM va estar totalment operativa), i per tant no s'han realitzat estudis d'aquest tipus, ni tampoc s'han pogut contrastar els resultats obtinguts en estudis anteriors com els que s'acaben d'exposar.

2.3 CLIMA I TEMPORALS

Aquest apartat descriu breument el clima català, parant especial atenció al clima marítim (Martínez de Ozés, 2003) (R.Bolaños, 2004). Seguidament es fa una caracterització de les principals situacions de temporal que es donen a la costa catalana. Com s'ha explicat en apartats anteriors, els temporals marítims són les situacions més crítiques per totes les activitats i infraestructures que s'ubiquen a la costa, i per tant seran uns dels principals objectes d'estudi d'aquesta tesina.

2.3.1 CARACTERITZACIÓ GENERAL DEL CLIMA A CATALUNYA

El clima característic de la major part de Catalunya (exceptuant la zona occidental dels Pirineus) és el clima mediterrani. Si bé aquest clima és caracteritzat per estius llargs i secs, hiverns suaus, i primaveres i tardors plujoses, cal dir que és molt irregular tan en l'espai com en el temps.

Per entendre la variabilitat climàtica existent en un territori tan petit com Catalunya, cal tenir en compte que la orografia catalana és excepcionalment complexa. La presència dels Pirineus, les serralades litoral prelitoral i transversal, la depressió central o la vall de l'Ebre són els principals elements orogràfics que caracteritzen el clima català.

Les zones litoral i prelitoral són les que presenten unes característiques climàtiques més típicament mediterrànies. Les serralades litoral i prelitoral exerceixen de barrera dels aires temperats del Mediterrani que fan que els hiverns siguin suaus i eviten que la temperatura s'enfili excessivament a l'estiu. Aquests mateixos aires, que contenen molta humitat, són els que provoquen que les primaveres i les tardors siguin períodes plujosos, amb episodis de pluja de durada relativament curta (dos o tres dies com a molt) i intensitats elevades. Cal destacar a més, que durant l'estiu són molt freqüents en aquesta zona tempestes de durada molt curta i de molt forta intensitat. Els hiverns en canvi són suaus, no acostumen a portar associats molta precipitació. En els mesos de gener i febrer és molt freqüent la instal·lació d'un potent anticicló, que estabilitza el temps i fa baixar el nivell del mar produint les anomenades “minves de gener”. D'entre totes les zones costaneres, les terres de l'Ebre són les que presenten unes condicions lleugerament diferents, ja que en alguns casos la vall de l'Ebre canalitza els vents de caràcter continental provinents del centre de la península.

Pel que fa al clima de vents i a l'onatge que porta associat, es poden classificar les situacions típiques que es donen en el litoral català en dos grans grups:

- Les situacions que porten associats vents provinents de terra, o vents de terral. En aquest grup s'hi engloben les situacions de ponent, les de mestral, i les de tramuntana. Aquestes situacions es caracteritzen per intensitats de vent elevades que fàcilment poden arribar a mitjanes de 15 m/s i ràfegues màximes que poden superar els 20 o 25 m/s, acompanyades d'alçades d'ona discretes degut al fet que la zona de *fetch* és inexistent (les alçades d'ona significant difícilment superen els 3m).
- Les situacions que porten associats vents provinents de mar. En aquest grup s'engloben algunes situacions de gregal, de llevant, i algunes de sud, concretament les de xaloc, migjorn i llebeig. Com es pot veure dins aquest grup hi ha escenaris molt diferents. Per una banda els de llevant i gregal, que acostumen a provocar forts temporals marítims (especialment els de llevant). I Per altra, els vents de xaloc i migjorn, que generalment són suaus i generen alçades d'ona petites que no superen el metre d'alçada. Les situacions a les quals cal parar més atenció a l'hora de dissenyar infraestructures i gestionar activitats marítimes són les primeres, ja que són les que presenten unes condicions més crítiques. Cal dir que en alguns, els vents de llebeig que poden ser molt intensos i donar onades altes. Aquests es descriuen amb més detall en l'apartat 2.3.2.

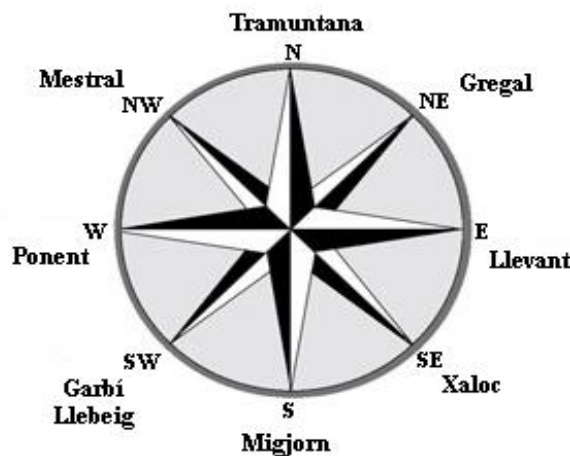


Fig. 2.1 Rosa dels vents
Font: www.calonge-meteoweb.com

2.3.2 TEMPORALS CARACTERÍSTICS A LA COSTA CATALANA.

La costa mediterrània catalana, i la espanyola en general, és una àrea molt complexa des del punt de vista meteorològic. La majoria de depressions que circulen pel Mediterrani provenen de l'Atlàntic i creuen la Península Ibèrica. En alguns casos es dona el fenomen de la ciclogènesis a les aigües del Mediterrani, en la que s'hi generen depressions.

- Situacions de nord-oest: aquesta situació es caracteritza per forts vents de mestral que colpegen amb especial virulència el delta de l'Ebre, el Golf de Lleó, i les Illes Balears. Aquest tipus de situacions acostumen a donar també forts temporals marítims entre les Illes Balears i al Golf de Lleó a mar obert, on la *zona de fetch* és gran. A la costa catalana, en canvi, no acostuma a portar associades grans alçades d'ona ja que el vent no té temps suficient per afectar la superfície marina i generar un onatge significatiu, excepte a la zona del Cap de Creus. Aquestes situacions es donen en presència d'una depressió a Escandinàvia i l'anticicló de les Açores en la seva posició habitual (veure figura 2.5).
- Situacions de nord: aquesta situació va acompanyada d'uns forts vents de tramuntana que afecten especialment el Golf de Lleó, les Illes Balears (especialment la seva zona nord) i el Cap de Creus. Com en el cas anterior la zona del Delta de l'Ebre es veu afectada per un gir dels vents a nord-oest seguint la Vall de l'Ebre. Pel mateix motiu que en les situacions de nord-oest, el temporal marítim és especialment fort a l'extrem Nord de les Illes Balears, i a la zona del Golf de Lleó (a mar obert). Aquestes situacions s'acostumen a donar quan una depressió es situa al nord d'Itàlia. També pot venir donada pel gradient de pressió provat per l'Anticicló de les Açores i una depressió que circula pel nord d'Europa.

La costa catalana es veu sotmesa amb freqüència a l'efecte de depressions atlàntiques que s'han anat desdibuixant al creuar els successius obstacles orogràfics de la Península Ibèrica. Amb relativa freqüència, especialment al final de l'estiu i durant la tardor, es sol donar el fenomen de la ciclogènesis. El que succeeix és que un front atlàntic desgastat es revitalitza amb les aigües càlides del Mediterrani, formant una depressió secundària. Depenent de la seva situació en el Mediterrani, genera un fort temporal de llevant o deriva en una situació de nord a la costa catalana.

- Situacions d'est: aquestes situacions són les més peculiars meteorològicament i les de més transcendència climàtica a la costa mediterrània de la Península Ibèrica. Es dona quan la depressió anterior es situa al nord d'Àfrica en presència d'un anticicló a la zona centre d'Europa (veure figura 2.3). Aquesta conjunció de factors provoca vents de llevant que es carreguen d'humitat sobre el mar. A més de precipitacions molt abundants, que poden acumular quantitats de superiors als 200l/m² en els 2-3 dies que solen durar aquests episodis, aquestes situacions acostumen a anar acompanyades d'un fort temporal marítim a la costa catalana i a les Illes Balears (amb alçades d'ona significant que poden superar els 5m), ja que en aquests casos la *zona de fetch* és molt àmplia. A més freqüentment aquests fenòmens acostumen a anar acompanyats d'una important marea meteorològica que fa augmentar el nivell mig del mar per l'apilament de l'aigua cap a la costa (*storm surge*).
- Situacions de nord-est: aquestes situacions s'acostumen a donar durant la primavera, l'estiu o la tardor. Poden ser producte tant de l'evolució d'una situació de tramuntana com d'evolució d'una situació de llevant. A l'hivern es sol donar quan l'anticicló de Sibèria es desplaça cap a Centre Europa (veure figura 2.2). Aquestes situacions es caracteritzen per vents continentals de mitjana intensitat, secs, i molt freds. Tot i així, cal puntualitzar que lleugeres

variacions en la posició de l'anticicló poden provocar que els vents girin lleugerament a llevant, provocant una situació completament diferent que porta associades nevades i un considerable temporal marítim.

- **Situació d'oest:** aquesta situació es caracteritza per vents zonals molt intensos, que en alguns punts de Catalunya poden arribar a cops de fins a 40m/s, i que alteren substancialment les condicions climàtiques habituals provocant temperatures altes i un ambient sec a la costa est de la Península Ibèrica. Aquesta situació adquireix la seva màxima dimensió quan diverses depressions atlàntiques es situen successivament entre les latituds 40° i 50° (veure figura 2.4). S'acostumen a donar a l'hivern, a l'estiu són poc habituals però quan es donen solen originar incendis forestals devastadors. Pel que fa al mar, a la costa catalana el temporal marítim és mínim ja que no hi ha *fetch*, a les Balears en canvi s'origina un onatge molt intens.
- **Situació de sud:** aquests esdeveniments es donen amb freqüència a la costa catalana, especialment durant l'estiu. Es caracteritzen per uns vents suaus de componen sud també anomenats brises, i que provoquen poca alteració de l'estat del mar. Depenent de la situació exacta de les isòbares els vents poden ser de sud-est (xaloc), sud (migjorn), o sud-oest (garbí o llebeig). Les dues primeres no suposen cap problema per a les infraestructures i activitats que s'ubiquen a la costa ja que tant la intensitat del vent com l'alçada d'ona són petites (els vents no superen els 5m/s i l'alçada d'ona acostuma a ser inferior al metre). Però en les rares situacions de llebeig, el vent arrenca del Mar d'Alboran i té un gran *fetch* fins la costa catalana (veure figura 2.6) provocant temporals que afecten greument les estructures que no estan pensades per suportar temporals d'aquestes orientacions.

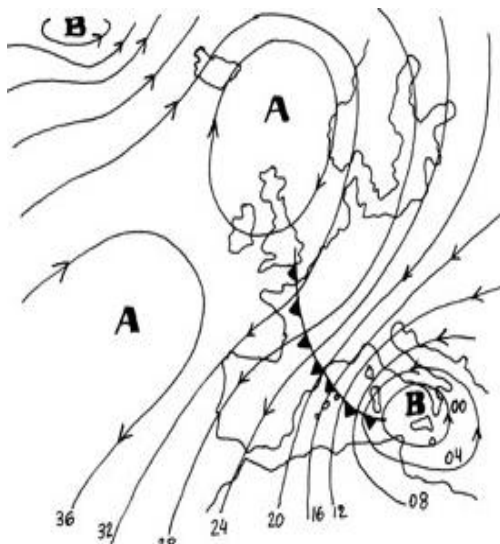


Fig. 2.2 Situació típica de nord-est (gregal)
Font: www.bodyboard.com

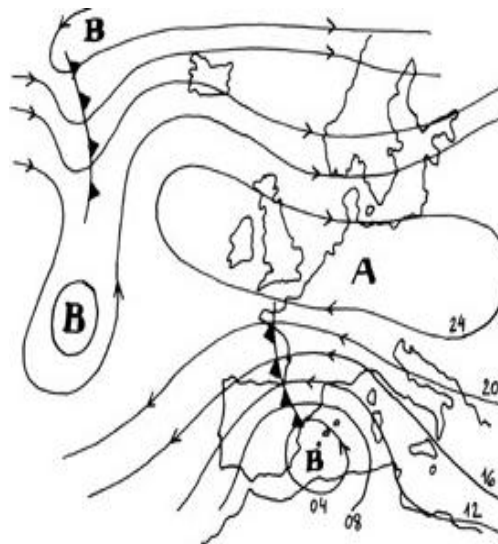


Fig. 2.3 Situació típica d'est (llevant)
Font: www.bodyboard.com

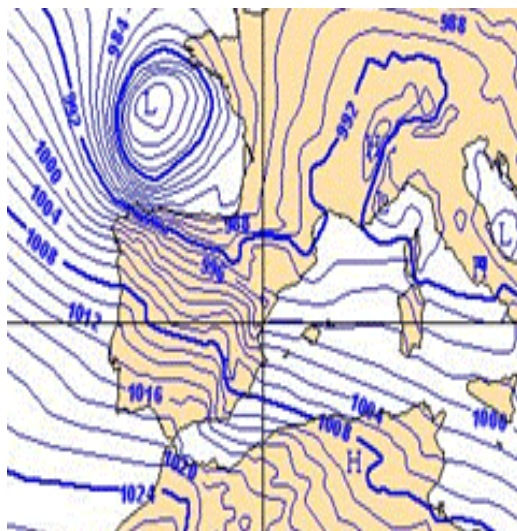


Fig. 2.4 Situació típica d'oest (ponent)
Font: www.cnciutadella.com

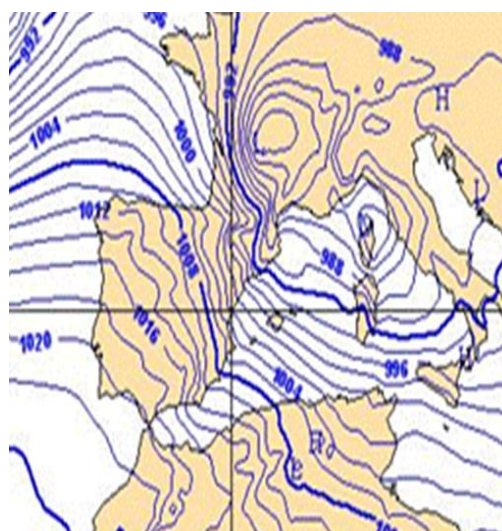


Fig. 2.5 Situació típica de nord-oest (mestral)
Font: www.cnciutadella.com



Fig. 2.6 Situació de sud (garbí o llebeig)
Font: www.bodyboard.com

3. OBJECTIUS

En aquesta tesina s'abordarà la intercomparació de les mesures de vents que s'estan realitzant en l'actualitat per les boies oceanogràfiques de la xarxa XIOM i les estacions meteorològiques costaneres properes, amb l'objectiu principal de caracteritzar aquestes mesures sobre el mar, i determinar les seves principals semblances i diferències amb les mesures realitzades a terra en el mateix instant de temps, en funció de les condicions d'onatge. Per fer-ho es plantegen una sèrie d'objectius parcials. A continuació s'exposen cadascun d'aquests objectius parcials acompanyats d'una breu explicació.

1. Obtenció d'uns patrons genèrics de comportament de la intensitat i direcció del vent en períodes de temporal marítim.

En aquest cas s'estableixen uns patrons generals de comportament de les principals característiques del vent: intensitat mitjana, intensitat de la ràfega màxima, i direcció, relacionant-les amb les variables relatives a l'onatge com la direcció, l'alçada d'ona significant o l'alçada d'ona màxima. S'obtenen aquests patrons de comportament per als principals tipus de temporals marítics que s'exposen en l'apartat 2.3.2, i per a diferents zones de la costa catalana. A més es contrasten els resultats observant també el que succeeix en períodes de calma marítima, però amb vent intens.

2. Determinació de les funcions densitat de probabilitat per a diferents punts de la costa catalana. Estudis probabilístics.

L'objectiu és determinar, per a diferents punts de la costa catalana i diferents tipus de temporal, una funció que ens permeti obtenir la probabilitat que els vents mesurats sobre el mar superin en un determinat percentatge els vents mesurats en les estacions meteorològiques terrestres a primera línia de la costa, donada una situació de temporal. Tal i com es fa en la majoria d'estudis oceanogràfics en el Mediterrani, com per exemple la tesis de doctoral de R. Bolaños citada en l'estat de l'art (R. Bolaños, 2004), es considera situació de temporal tota aquella on l'alçada d'ona significant superi els 1,5m.

Qualsevol infraestructura costanera es pot dissenyar seguint dos tipus d'esquema. El primer és un esquema determinista, en el qual els càlculs de disseny s'efectuen a partir d'uns esforços de càlcul, que s'obtenen a partir de sèries històriques de dades. El segon mètode és de caràcter probabilista, és a dir que per dissenyar ens basem en la probabilitat que l'estructura pateixi desperfectes, classificant-los segons la seva gravetat. El mateix passa per amb els càlculs d'explotació de qualsevol infraestructura que es poden fer utilitzant valor mitjans, o en termes probabilístics. Cal remarcar que el fet d'utilitzar un mètode probabilístic, emfatitza més el risc en que s'incorre en dissenyar les infraestructures, o gestionar-les, d'una manera determinada.

3. Obtenció d'uns patrons genèrics de comportament del vent en sèries llargues de temps.

En aquest apartat es determina com es comporten la ràfega màxima i la velocitat mitjana de vent en relació amb l'alçada d'ona significant, la direcció de l'onatge i la direcció del vent, en sèries mínimament llargues i contínues de temps que incloguin tot tipus de situacions, tant meteorològiques com marítimes (no només situacions de temporal).

4. Obtenció d'una fórmula empírica que relacioni les velocitats mitjanes de vent en funció de l'alçada d'ona significant.

L'objectiu és obtenir una fórmula empírica que permeti estimar la velocitat mitja del vent mesurat sobre el mar (a 3m) en funció de la velocitat mitja del vent (a 10m) registrada per una estació meteorològica terrestre situada a primera línia de la costa, i de l'alçada d'ona significant.

4. METODOLOGIA

En aquest capítol es fa un inventari de les dades, fonts i mètodes utilitzats. Es descriuen les xarxes de mesura, episodis d'estudi escollits, i estudis realitzats. L'objectiu és fer-se una idea el més acurada possible de tots els elements que han fet possible que es dugui a terme aquesta tesina, i també de la forma com aquesta s'ha desenvolupat.

4.1 XARXES DE MESURA

La Xarxa d'Instruments Oceanogràfics i Meteorològics (XIOM) (www.xiom.cat), el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) (www.meteo.cat), i l'Autoritat Portuària de Barcelona (www.portdebarcelona.es), han tingut un paper molt important a l'hora de facilitar les dades per a la realització d'aquesta tesina. Tots ells disposen d'una xarxa d'instruments de mesura de variables meteorològiques i/o oceanogràfiques que han estat la base per a realització d'aquesta tesina.

Tot seguit es fa una breu descripció de cadascuna d'aquestes xarxes de mesura, quin és el seu objectiu prioritari, com s'organitzen i s'administren, quina ha estat la seva evolució en els últims anys, i sobretot amb quins aparelles de mesura compten cadascuna d'elles.

4.1.1 XARXES UTILITZADES

Xarxa d'Instruments Oceanogràfics i Meteorològics (XIOM)

La Xarxa d'Instruments Oceanogràfics i Meteorològics (XIOM) és propietat de la Generalitat de Catalunya i està composta per un conjunt d'equipaments de mesura de les variables costaneres més significatives mitjançant diferents tipus de boies, estacions meteorològiques i mareògrafs.

Els inicis d'aquesta xarxa es remonten al 1984, quan, a fi d'obtenir mesures per a un millor seguiment de l'evolució de les platges del litoral català, el Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya (DPTOP) va impulsar la creació d'una xarxa de mesura d'onatge distribuïda al llarg de la costa catalana. En aquell moment es van instal·lar dues boies escalars fondejades a 50 m. de profunditat, en els punts que, en aquell moment, es consideraven els més vulnerables del litoral català: el Delta del Llobregat, i el Delta de la Tordera.

Al 1990, l'agreujament del problema de regressió que patia la línia costanera del Delta de l'Ebre, va fer que el DPTOP impulsés la creació del Laboratori d'Enginyeria Marítima de la Universitat Politècnica de Catalunya (LIM/UPC). Per a aquest estudi el laboratori utilitzà dues boies direccionals a més d'incorporar dos mareògrafs i tres estacions meteorològiques al paquet d'instruments.

Al 1992 es va incorporar una altra boia escalar al Golf de Roses. Al 1997 les boies escalars deixarien d'estar operatives, tot i així els aparells del delta de l'Ebre van seguir mesurant.

En els últims anys, la necessitat d'una observació millor del medi ambient i el desenvolupament en el camp de la previsió i dels models numèrics, han ampliat els sectors interessats en l'obtenció de mesures de les variables costaneres, això ha fet que la xarxa d'aparells de mesura s'hagi ampliat i modernitzat. El 1999 el Servei de

Meteorologia de Catalunya (SMC), Ports de la Generalitat (PG), el DPTOP i el LIM/UPC van acordar donar un nou impuls a aquesta xarxa de mesura consistent a tornar a mesurar el que havia quedat interromput. Atès el creixement de les aplicacions en temps real, es va prioritzar la centralització automatitzada de les dades i la seva difusió per Internet. Cal esmentar també la modernització paulatina del parc instrumental, amb la substitució de les boies escalars del Llobregat i la Tordera per boies direccionals al 2002 i 2007 respectivament. També cal destacar la instal·lació de mareògrafs al 2007 i 2008, així com la instal·lació de diferents boies meteo-oceanogràfiques durant l'any 2008.

El principal objectiu de la XIOM en l'actualitat és una millor determinació i caracterització de les principals variables oceanogràfiques:

- Onatge
- Les corrents marines
- El nivell del mar
- El vent

És interessant destacar el fet que el conjunt actual de la xarxa de boies de la XIOM ha proporcionat les sèries temporals d'onatge més llargues del litoral espanyol fins a dia d'avui.

Actualment, la XIOM està formada per diferents boies situades a diversos punts de la costa catalana: Golf de Roses, Delta de la Tordera, Delta del Llobregat i Cap de Tortosa, que proporcionen informació sobre les variables esmentades anteriorment. A més de les boies, la xarxa conté una sèrie de mareògrafs que mesuren el nivell del mar. Tot seguit es mostra un mapa on es pot apreciar la ubicació més exacta d'aquestes boies i aparells de mesura.



Fig. 4.1 Mapa general d'ubicació de les boies de la XIOM

Font: www.xiom.cat

No totes les estacions que es mostren en la figura 4.1 disposen de tots els aparells de mesura. Cal diferenciar entre les diferents boies d'onatge, ja que tenim boies direccionals que mesuren alçada i direcció de l'onatge, i boies escalars que només en mesuren l'alçada. A més destacar que a Badalona no es disposa de boies però sí que es compta amb una estació oceanogràfica, i també el fet que al Delta de l'Ebre es disposa de tres estacions meteorològiques tal i com es pot observar en el detall de la figura 4.1.

En aquest estudi no s'utilitzen tots els aparells de mesura dels quals disposa la XIOM. Concretament només s'ha fet ús de les dades corresponents a boies d'onatge i boies meteo-oceanogràfiques del Golf de Roses, Blanes (Delta de la Tordera), Llobregat i Cap de Tortosa. Per a l'obtenció de les dades meteorològiques de terra s'han utilitzat les dades del Servei Meteorològic de Catalunya i de l'Autoritat Portuària de Barcelona. A continuació s'adjunten les fitxes tècniques dels aparells utilitzats acompanyades d'una breu explicació del sistema de tractament de dades.

Fitxa tècnica boia d'onatge del golf de Roses

Ubicació: golf de Roses, davant de St. Pere Pescador (Alt Empordà).
Localització: 42° 10,71' N - 03° 11,89' E
Distància a costa: 4 milles nàutiques.
Variables mesurades: Alçada i període d'ona
Interval de mostreig: 1h.
Dades disponibles des de: 1992

Fitxa tècnica boia meteo-oceanogràfica del golf de Roses

Ubicació: Golf de Roses, davant de St. Pere Pescador (Alt Empordà)
Localització: 42° 10,71' N - 03° 11,89' E
Distància a costa: 4 milles nàutiques.
Variables mesurades: Velocitat del vent, direcció de procedència del vent, temperatura de l'aigua a 1m i a 15m, velocitat del corrent a 1m i 15m, direcció del corrent a 1m i 15m
Interval de mostreig: 10 min.
Dades disponibles des de: 2008

Fitxa tècnica boia d'onatge de Blanes

Ubicació: al nord del delta de la Tordera, davant de Blanes (La Selva)
Localització: 41° 39,05' N - 02° 48,92' E
Distància a costa: 1 milla nàutica.
Variables mesurades: Alçada, període d'ona, i direcció d'ona
Interval de mostreig: 1h.
Dades disponibles des de: 1984

Fitxa tècnica boia meteo-oceanogràfica de Blanes

Ubicació: al nord del delta de la Tordera, davant de Blanes (La Selva).
Localització: 41° 39,05' N - 02° 48,92' E
Distància a costa: 1 milla nàutica.
Variables mesurades: Velocitat del vent, direcció de procedència del vent, temperatura de l'aigua a 1m i a 15m, velocitat del corrent a 1m i 15m, direcció del corrent a 1m i 15m
Interval de mostreig: 10 min.
Dades disponibles des de: 2008

Fitxa tècnica boia d'onatge del Llobregat

Ubicació: delta del Llobregat, davant la desembocadura del Llobregat (Baix Llobregat)
Localització: 41° 39,05' N - 02° 48,92' E
Distància a costa: 1,34 milles nàutiques
Variables mesurades: Alçada, període d'ona, i direcció d'ona
Interval de mostreig: 1h.
Dades disponibles des de: 1984

Fitxa tècnica boia meteo-oceanogràfica del Llobregat

Ubicació: delta del Llobregat, davant la desembocadura del Llobregat (Baix Llobregat)
Localització: 41° 39,05' N - 02° 48,92' E
Distància a costa: 1,34 milles nàutiques
Variables mesurades: Velocitat del vent, direcció de procedència del vent, temperatura de l'aigua a 1m i a 15m, velocitat del corrent a 1m i 15m, direcció del corrent a 1m i 15m
Interval de mostreig: 10 min.
Dades disponibles des de: 2008

Fitxa tècnica boia d'onatge del cap de Tortosa

Ubicació: delta de l'Ebre, davant la desembocadura de l'Ebre (Baix Ebre-Montsià)
Localització: 40° 43,29' N - 00° 58,89' E
Distància a costa: 5 milles nàutiques
Variables mesurades: Alçada, període d'ona, i direcció d'ona
Interval de mostreig: 1h.
Dades disponibles des de: 1984

Fitxa tècnica boia meteo-oceanogràfica del cap de Tortosa

Ubicació: delta de l'Ebre, davant la desembocadura de l'Ebre (Baix Ebre-Montsià)
Localització: 40° 43,29' N - 00° 58,89' E
Distància a costa: 5 milles nàutiques
Variables mesurades: Velocitat del vent, direcció de procedència del vent, temperatura de l'aigua a 1m i a 15m, velocitat del corrent a 1m i 15m, direcció del corrent a 1m i 15m
Interval de mostreig: 10 min.
Dades disponibles des de: 2009

Les dades mesurades per tots els aparells que es troben situats al llarg de la costa catalana són enviades de forma contínua i en temps real a un servidor del Laboratori d'Enginyeria Marítima de la UPC, on es processa tola la informació i es prepara per a que pugui ser publicada a Internet, amb un accés a les dades totalment públic. En les següents figures es mostren imatges de les boies anteriors i un esquema més exacte de les seves ubicacions.



Fig. 4.2 Boia d'onatge.
Font: www.xiom.cat



Fig. 4.3 Boia meteo-oceanogràfica.
Font: www.xiom.cat



Fig. 4.4 Ubicació Boia golf de Roses.
Font: www.xiom.cat



Fig. 4.5 Ubicació Boia Blanes.
Font: www.xiom.cat



Fig. 4.6 Ubicació Boia delta del Llobregat.
Font: www.xiom.cat



Fig. 4.7 Ubicació Boia Cap Tortosa.
Font: www.xiom.cat

Com es pot veure en les imatges anteriors es tracta de mecanismes autònoms que s'autoabasteixen d'energia mitjançant una sèrie de cèl·lules fotovoltaïques. La fragilitat d'aquests sistemes d'abastiment d'energia i dels sistemes de transmissió de dades, juntament amb l'actitud incívica d'alguns usuaris de la costa catalana, fan que aquestes boies hagin de ser reparades amb relativa freqüència i que per tant les sèries de dades es vegin interrompudes.

Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)

El SMC és un organisme gestionat des de la Secretaria de Medi Ambient i Sostenibilitat, pertanyent al Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya. Entre les seves principals funcions destaquen:

- La gestió i el manteniment de la Xarxa d'Equipaments Meteorològics de la Generalitat de Catalunya (Xemec).
- Tractament, explotació i divulgació de les dades procedents dels equipaments meteorològics.
- Explotació i gestió de la base documental provinent del Servei de Meteorologia del Departament de Medi Ambient.
- Assistència de les administracions i les institucions que necessiten informació meteorològica i climàtica i col·laborar-hi.

El SMC té una estructura molt àmplia i una gestió molt complexa. Es parlarà atenció a la Xarxa d'Equipaments Meteorològics, en concret a les estacions meteorològiques utilitzades en aquesta tesina per a l'obtenció de dades. La Xemec es compon d'una xarxa d'observadors meteorològics, una xarxa de 165 estacions meteorològiques automàtiques a terra, una xarxa de 4 radars meteorològics, una xarxa de detecció de llamps, equips de radiosondatge, i un receptor d'imatges del satèl·lit Meteosat. Per a la realització d'aquesta tesina s'han utilitzat dades provinents de les estacions meteorològiques automàtiques de les poblacions de Sant Pere Pescador, Malgrat de Mar i de l'Illa de Buda. A continuació s'exposen les fitxes tècniques d'aquestes estacions juntament amb algunes imatges i mapes de les respectives ubicacions.

Fitxa tècnica estació meteorològica de Sant Pere Pescador

Població: Sant Pere Pescador (Alt Empordà)
Localització: 42° 10,74' N – 03° 5,87' E
Altitud respecte el nivell del mar: 4m
Variables: velocitat del vent a 10 m (m/s), direcció del vent a 10 m (graus), temperatura (°C), humitat relativa (%), pressió atmosfèrica (hPa), precipitació (mm), irradiància solar global (W/m²), velocitat del vent a 2 m (m/s), direcció del vent a 2 m (graus)
Interval de mostreig: 1h
Dades disponibles des de: 01/05/1989

Fitxa tècnica estació meteorològica de Malgrat de Mar

Població: Malgrat de Mar (Maresme)
Localització: 41° 38,94' N - 02° 45,46' E
Altitud respecte el nivell del mar: 2m
Variables: velocitat del vent a 10 m (m/s), direcció del vent a 10 m (graus), temperatura (°C), humitat relativa (%), pressió atmosfèrica (hPa), precipitació (mm), irradiància solar global (W/m²)
Interval de mostreig: 1h
Dades disponibles des de: 04/05/2005

Fitxa tècnica estació meteorològica de l'Illa de Buda

Població: Sant Jaume d'Enveja (Montsià)

Localització: 40° 42,54' N - 00° 51,13' E

Altitud respecte el nivell del mar: 0 m

Tipus dada de període: 30 minuts

Variables: velocitat del vent a 10 m (m/s), direcció del vent a 10 m (graus), temperatura (°C), humitat relativa (%), pressió atmosfèrica (hPa), precipitació (mm), irradiància solar global (W/m2)

Interval de mostreig: 30 min.

Dades disponibles des de: 14/07/1999



Fig. 4.8 D'esquerra a dreta EMA de Sant Pere Pescador, Malgrat de Mar i Illa de Buda.

Font: Serve meteorològic de Catalunya (www.meteo.cat)

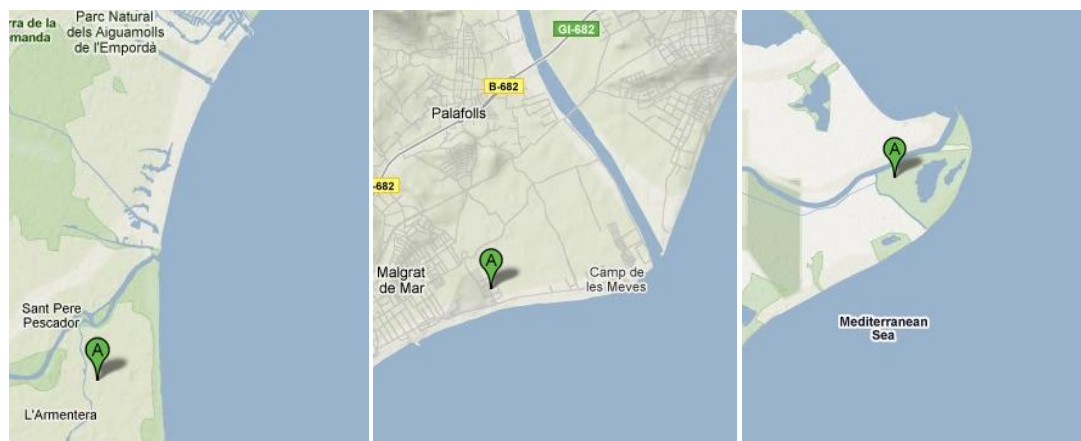


Fig. 4.9 D'esquerra a dreta ubicació de les EMA de Sant Pere Pescador, Malgrat de Mar i Illa de Buda.

Com es pot comprovar en les fitxes tècniques i en les imatges de la figura 4.9, les estacions meteorològiques escollides presenten unes característiques d'ubicació molt similars. En els tres casos són molt pròximes a la línia costanera, la seva altura és mínima (molt pròxima al nivell del mar), i com es pot comprovar en les imatges (figura 4.8), no tenen elements orogràfics o construccions que puguin distorsionar les dades de vent. D'aquesta manera ens assegurem que les diferències que puguin aparèixer entre les dades de vent registrades per aquestes estacions i les dades registrades per les boies meteorològiques de la XIOM no siguin atribuïbles a la presència d'aquests elements distorsionadors.

Les dades que registren les estacions meteorològiques automàtiques són sotmeses a una primera validació automàtica. Posteriorment es transmeten al SMC a través de ràdio digital, tecnologia GSM o satèl·lit. Allà són verificades mitjançant un control de qualitat més exhaustiu.

Cal esmentar també que aquestes estacions poden estar abastides d'energia mitjançant sistemes autònoms o bé poden estar connectades a la xarxa elèctrica.

Autoritat Portuària de Barcelona (APB)

Finalment, a falta d'estacions meteorològiques del SMC que garanteixin unes condicions similars a les de la boia meteorològica del delta del Llobregat, s'ha optat per utilitzar dades registrades per l'estació meteorològica de "la Sirena" del Port de Barcelona.

Fitxa tècnica estació meteorològica de la Sirena (Port de Barcelona)

Ubicació: Port de Barcelona

Localització: 41° 20.508'N 2° 09.719'E

Altitud respecte el nivell del mar: 2m

Variables: velocitat del vent a 10 m (m/s), direcció del vent a 10 m (graus), temperatura (°C), humitat relativa (%), pressió atmosfèrica (hPa), irradiància solar global (W/m²)

Interval de mostreig: 1h

Dades disponibles des de: dada no facilitada



Fig. 4.10 Ubicació de l'estació meteorològica de la Sirena

La xarxa meteorològica del Port de Barcelona consta de sis estacions de mesura, cinc de les quals són fixes i una mòbil. Igual que la de la Sirena, totes elles estan dotades de sensors de velocitat i direcció de vent, radiació solar, pressió atmosfèrica, humitat relativa i temperatura. Totes aquestes dades són utilitzades per l'APB per verificar les condicions meteorològiques i del mar i establir les condicions d'operativitat a temps real.

4.1.2 GRUPS D'ESTACIONS DE MESURA

Un cop es disposa de les dades proporcionades per les diferents estacions i boies, cal relacionar-les entre elles. S'intenta que cada estació meteorològica estigui el més pròxima possible a la boia de la XIOM amb la qual es compara. A més, és important que no hi hagi obstacles que puguin distorsionar les mesures del vent. Tot seguit es mostren les associacions que s'han cregut més oportunes.

- 1) Boies del golf de Roses – Estació meteorològica automàtica de Sant Pere Pescador
- 2) Boies de Blanes – Estació meteorològica automàtica de Malgrat de Mar
- 3) Boies del Llobregat – Estació meteorològica “la Sirena” del Port de Barcelona
- 4) Boies del cap de Tortosa – Estació meteorològica automàtica de l'Illa de Buda

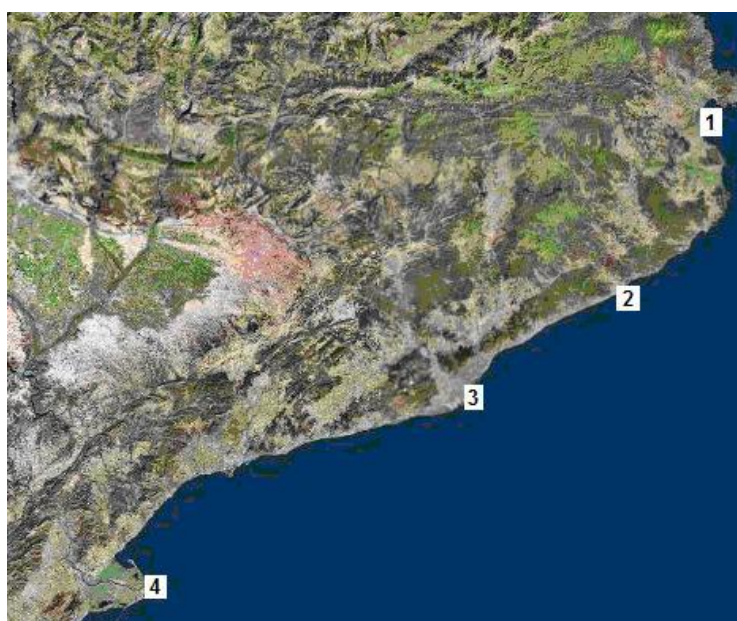


Fig. 4.11 Mapa de les diferents parelles d'estacions de mesura

Les condicions de les diferents parelles són molt similars. L'única nota discordant és la que formen les boies del delta del Llobregat i l'estació de “la Sirena”. Aquests dos punts de mesura estan sotmesos a unes condicions sensiblement diferents. Estan més allunyats que la resta. I mentre que l'estació del port es troba ubicada darrere la muntanya de Montjuïc i la serra de Collserola que exerceixen de pantalla quan els vents provenen de terra, la boia es troba davant del delta del Llobregat, lloc on aquests vents de terra són més intensos ja que vénen canalitzats per la planura al·luvial del riu. En aquest cas particular no s'ha pogut trobar cap estació meteorològica en millors condicions, les del SMC es troben molt allunyades de la línia costanera, i les dades de l'estació meteorològica de l'Aeroport del Prat no han estat facilitades, malgrat que han estat sol·licitades.

En la figura 4.12 s'exposa un detall de la ubicació de cada parell d'estacions de mesura.

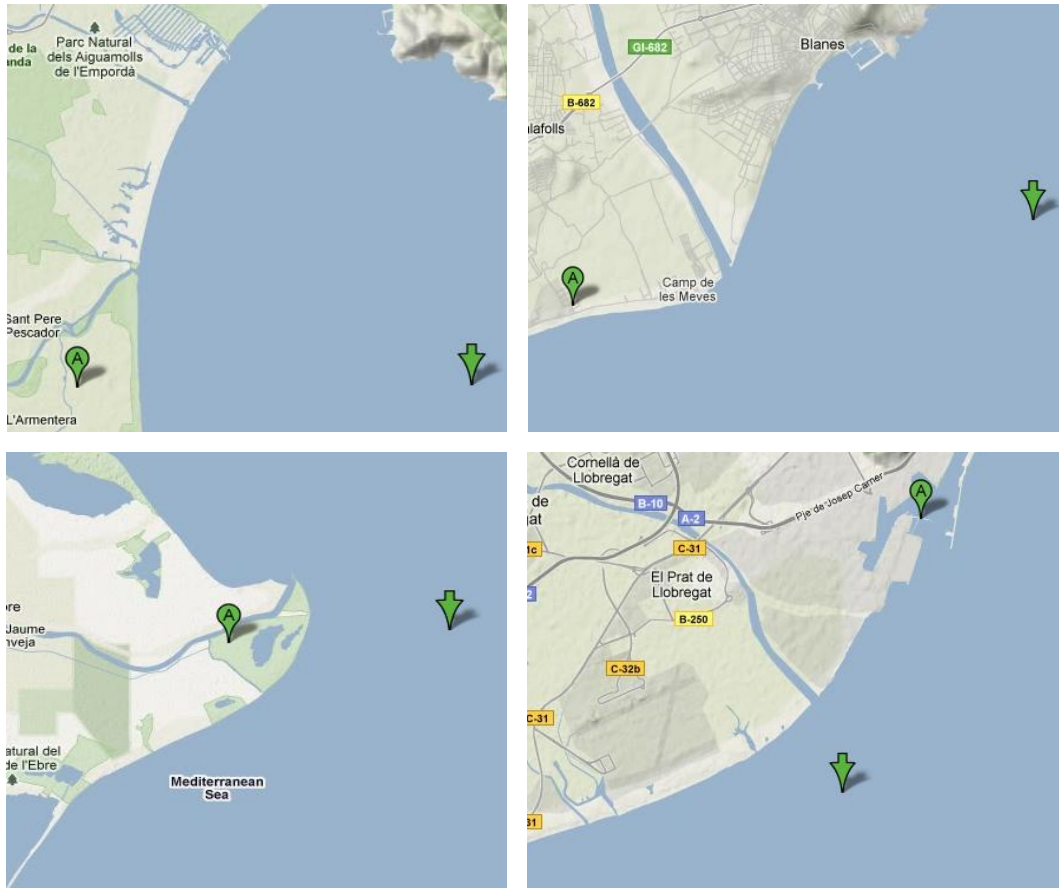


Fig. 4.12 Detall de la ubicació de les 4 parelles d'estacions de mesura (1), (2), (3) i (4) d'esquerra a dreta i de dalt a baix

4.2 PERÍODES D'ESTUDI ESCOLLITS

Aquest apartat es descriuen acuradament els episodis als quals pertanyen les sèries de dades utilitzades en cadascun dels estudis de la tesina. En l'apartat 4.3, on es fa una descripció detallada dels diferents estudis, es farà referència explícita a l'episodi que s'utilitza en cada cas concret.

4.2.1 TEMPORALS DE LLEVANT

A continuació s'exposen les dos situacions de temporal de llevant que han estat estudiades en aquesta tesina. Ambdues responen perfectament al què en l'apartat 2.2.2 s'ha definit com a situacions de llevant

- Del 26/12/2008 al 29/12/2008

Aquest fou un dels temporals de llevant més intensos del les últimes dècades, és recordada com “la llevantada de Sant Esteve”.

Després d'una sèrie de setmanes de calma, una bossa d'aire fred en altura es desplaçà des de l'est d'Europa fins al Golf de Lleó. Un cop allà, es va formar una dèbil depressió superficial de 1012 hPa, que finalment es va situar davant la costa catalana. L'intens gradient de pressió atmosfèrica entre l'anticicló centreeuropeu i la depressió, va provocar un flux intens, constant, i de llarg

recorregut de vents de llevant, que van afectar especialment la zona centre i nord de la costa catalana (veure figura 4.13).

Per entendre la magnitud d'aquest temporal és interessant donar un cop d'ull a les següents dades:

- Passadís de 990Km de vents de llevant, ENE, entre Sicília/Túnez i la costa nord de Catalunya.
- Pertorbació poc profunda (1012hPa) però potent i tancada, situada a uns 80-100Km davant la costa catalana.
- Onades amb altures significants de 6-7m i altures màximes de 9m.
- Període màxim entre ones de 10 segons.
- Nivell del mar més alt de l'habitual, degut a les baixes pressions i sobretot a l'intens gradient de pressions en pocs quilòmetres de distància.
- Vents sostinguts per sobre de 65Km/h i ràfegues màximes de 85Km/h.
- 73 hores consecutives amb alçada d'ona significant superior a 1,5m.

Aspectes com els que s'acaben d'enumerar van provocar que aquest fos un dels temporals més devastadors que es recorden. Quasi totes les poblacions del litoral català en van patir les conseqüències, especialment les del centre i nord. El temporal es va cobrar la vida de tres persones a Catalunya, dues en ser arrossegades per ones al Port de Barcelona i el Prat de Llobregat, i l'altre a Sant Andreu de Llavaneres mentre practicava submarinisme. Quatre persones van resultar ferides a Platja d'Aro, quan una onada va impactar contra el restaurant del passeig marítim on estaven dinant. L'esfondrament de la pràctica totalitat del passeig marítim de l'Escala (veure figura 4.14), els greus desperfectes soferts pel passeig marítim de Blanes, o la desaparició de la gran majoria de platges del litoral centre i nord de Catalunya, són alguns dels desperfectes produïts pel temporal.

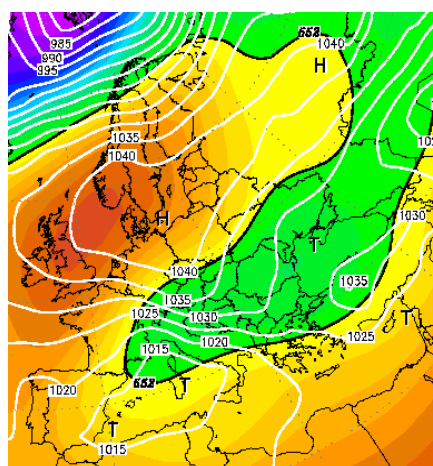


Fig. 4.13 Situació isobàrica del temporal
Font: www.wetterzentrale.de



Fig. 4.14 Danys a l'Escala
Font: www.tiemposevero.es

Com s'ha dit es tracta d'una de les llevantades més fortes dels últims 50 anys. A més el gran impacte mediàtic degut a la gran quantitat de danys que va produir, el fan encara més interessant.

- Del 20/10/2009 al 23/10/2009

Aquest és el segon temporal de llevant objecte d'estudi. A diferència del temporal de Sant Esteve del 2008, aquest també va afectar notablement la zona centre i sud de la costa catalana, provocant ràfegues de vent de fins a 129Km/h a La Sènia (Montsià), o pluges abundants a la ciutat de Barcelona que van provocar la paralització de part del metro, retards en els serveis de ferroviaris, el col·lapse de les rondes, o el bloqueig d'algunes carreteres per despreniments. El temporal marítim afectar la Costa Brava, on l'onatge fou major malgrat que les ràfegues de vent no van ser tan intenses. Novament algunes de les infraestructures costaneres, especialment els passeigs marítims, van resultar afectades. La que va tenir més repercussió va ser l'enfonsament de part del passeig marítim de Blanes, a la zona de la platja de S'Abanell.



Fig. 4.15 Passeig marítim de Blanes
Font: www.elperiodico.com



Fig. 4.16 Inundacions a les rondes de Barcelona
Font: www.lavanguardia.es

El fet que no es tracti d'una llevantada tant excepcional com la de desembre del 2008 és interessant per tal d'estudiar escenaris que presentin intensitats diferents, i obtenir una base de dades més àmplia i heterogènia.

4.2.2 TEMPORALS DE PONENT

Tot seguit s'exposen els temporals de ponent que s'han utilitzat en els diferents estudis d'aquesta tesina. A diferència del què succeeix en els temporals de llevant explicats en l'apartat 4.2.1, la naturalesa de les dues situacions que s'exposen a continuació no és exactament la mateixa. En els dos casos els vents provenien de terra, però els episodis tenien matisos diferents. Això permet tenir representada en l'estudi una casuística molt més àmplia.

En l'apartat 4.3 es farà menció de cadascun dels temporals de ponent i s'ubicaran en l'estudi o estudis concrets pels quals han estat utilitzats.

- Del 23/01/2009 al 26/01/2009

La situació meteorològica viscuda el dia 24 de Gener, especialment durant la matinada, no es dona gaire sovint al nostre país. Passarà a la història tant per les fortes ràfegues màximes de vent, com pels vents sostinguts que es van donar. En alguns observatoris es van donar valors d'intensitats mai registrades fins al moment: 214 km/h a Mediona, 190 km/h a Albinyana, o 214 km/h al Port d'Envalira a Andorra.

La situació isobàrica que es va donar no és, en absolut, estranya. De fet respon perfectament a l'escenari que en el tema 2.2.2 de la tesina s'ha descrit com a "situació d'oest" o de ponent. Una pertorbació situada entre les latituds 40° i 50°, i l'anticicló de les Açores en la seva posició habitual, provocant així un flux intens de vent de component oest a tota la península. En aquest cas però, es va donar a més un fet excepcional, la formació del que en meteorologia s'anomena ciclogènesi explosiva. Francisco Martín León la defineix així en el seu article a la revista meteorològica digital RAM^{3ª ETAPA} (www.meteored.com/ram):

*"Como su nombre indica es básicamente una ciclogénesis pero que sucede muy rápidamente y muy intensamente. Es decir, la depresión o ciclón en superficie puede formarse aparentemente en un espacio muy corto de tiempo, convirtiéndose en una borrasca (caso de latitudes medias) muy violenta y adversa en cuestión de pocas horas. El término general usado para estas depresiones que se profundizan muy rápidamente, es de **"bomba" meteorológica**.*

La definición de bomba, ciclón o borrasca explosiva es aquella borrasca cuyo mínimo depresionario la presión baja 24hPa en 24 horas, o menos. Esta definición suele establecerse o referirse a latitudes altas, alrededor de los 55°-60° ya que los procesos ciclogénéticos están influenciados por la rotación de la Tierra. Las ciclogénesis explosiva suceden con frecuencia en el Atlántico y Pacífico.

Para nuestras latitudes, 45° Norte, la definición se relaja en caídas de presión del orden de 18 – 20hPa en 24 horas. Mejor que esta definición "encorsetada", los meteorólogos suelen trabajar con otra, sin umbrales tan fijos como los anteriores pero donde los procesos físicos que controlan el desarrollo explosivo son los mismos."

En el cas que ens ocupa, la depressió inicial es va formar davant les costes de Galícia, degut a la col·lisió d'una massa d'aire càlida situada al sud (anticicló de les Açores) i una massa d'aire fred situada en latituds més altes. En estar en aigües fredes i molt pròxima a una gran depressió, aquesta petita depressió es va anar aprofundint amb molta rapidesa a la vegada que anava avançant cap al Golf de Vizcaya, donant lloc a l'anomenada ciclogènesi explosiva. La pressió atmosfèrica més baixa que es va registrar en el seu centre va ser de 965hPa (veure figura 4.17).

El fenomen no només va afectar Catalunya, sinó que també va posar en alerta tota la Península Ibèrica per forts vents, que van anar acompanyats d'un fortíssim temporal marítim al mar Cantàbric. A Catalunya el temporal es va traduir en fortíssims vents de component oest, que van provocar nombroses destrosses. Els vents més forts es van registrar a l'Alt Empordà i a les terres de l'Ebre, però per tot el país es van donar cops màxims al voltant dels 100Km/h i mitjanes pròximes als 50Km/h. Arbres caiguts van provocar el tall de carreteres, vies ferroviàries, i el fort vent va posar en alerta tot Catalunya. Malauradament també es van haver de lamentar víctimes mortals. Una dona de 52 anys va morir en caure-li a sobre un mur dos metres i mig d'altura, i 4 nens van morir en l'accident succeït el 25 de gener a Sant Boi de Llobregat, quan va enfonsar-se la coberta del poliesportiu on estaven jugant.

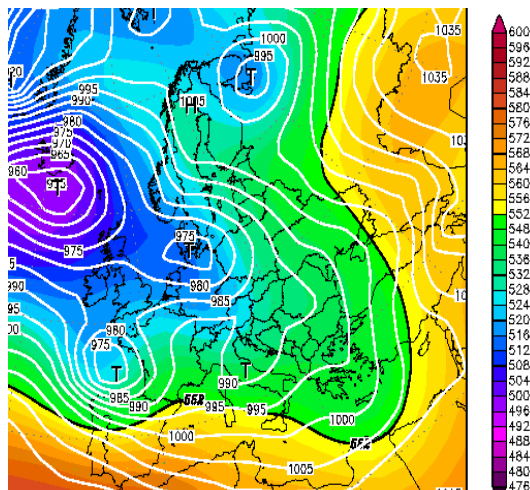


Fig. 4.17 Mapa isobàric de la ciclogènesi
Font: www.wetterzentrale.de



Fig. 4.18 Poliesportiu de Sant Boi
Font: www.lavanguardia.es

Com es pot comprovar es tracta d'un escenari típic de ponent (vents provinents de terra) a Catalunya. A més la particularitat que es donés una ciclogènesi explosiva, degut a la poca freqüència amb que es dona aquest fenomen i les elevades intensitats de vent que produeix, justifica encara més el fet d'escollir-lo per a la tesina.

- Del 02/11/2009 al 06/11/2009

Aquest és un escenari lleugerament diferent a les ventades de finals de gener del 2009 degut a la ciclogènesi explosiva. En aquest cas es tracta d'una situació que en l'apartat 2.3.2 es defineix com a "nord-oest" o mestral. Com es pot veure en el mapa isobàric (figura 4.19) que s'adjunta al final de l'explicació, una profunda depressió a les illes britàniques, que juntament amb l'anticicló de les Açores, i la formació d'una petita baixa secundària que se situa al nord d'Itàlia, impulsen vents intensos de component nord-oest.

Tot i ser molt intensos, els vents que es van donar en aquest episodi no van assolir els registres extraordinaris de gener del mateix any. Les ràfegues màximes de vent es van donar, com és habitual, als dos extrems del país i als cims més alts dels Pirineus. Es van registrar cops màxims de vent de fins a 122Km/h a Núria, o 135Km/h a Protbou. Aquesta situació es va allargar durant 5 dies, amb una petita treva la primera meitat del dia 4 de novembre.

Les conseqüències també van ser molt menors. Els efectes del vendaval es van limitar a caiguda d'arbres i branques i desprendiment d'elements de façana, que en alguns casos van provocar talls de carrers i del subministrament elèctric. Els bombers van haver d'efectuar 40 serveis per incidències, només a la ciutat de Barcelona.

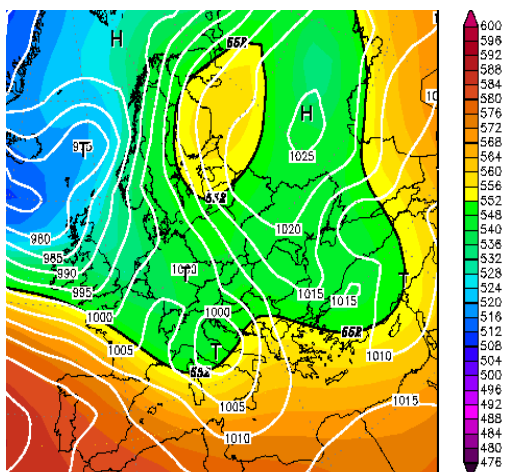


Fig. 4.19 Mapa isobàric de la situació de mestral
Font: www.wetterzentrale.de



Fig. 4.20 Branques caigudes pel vent a Barcelona
Font: www.lavanguardia.es

4.2.3 CALMA MARÍTIMA

Aquest tercer escenari d'estudi es caracteritza per una intensitat de vent elevada i calma marítima simultània. No respon a cap de les situacions de temporal explicades en l'apartat 2.3.2, ja que l'onatge és petit, l'alçada d'ona significant és pròxima als 50cm. durant els dos primers dies, i en cap cas supera el metre i mig. A més direcció del vent és variable. No obstant s'ha decidit incloure'l com a període d'estudi, l'objectiu és avaluar amb més claredat quina és la influència de l'onatge en la distorsió que pateix el vent, comparant aquest escenari amb els diferents escenaris de temporal. En altres paraules incloure un element de contrast amb els temporals, on es doni un dels fenòmens (vents intensos), però no l'altre (grans alçades d'ona).

El període escollit és el que va del 16/02/2009 al 18/02/2009. Tot seguit s'exposa l'evolució isobàrica d'aquells dies:

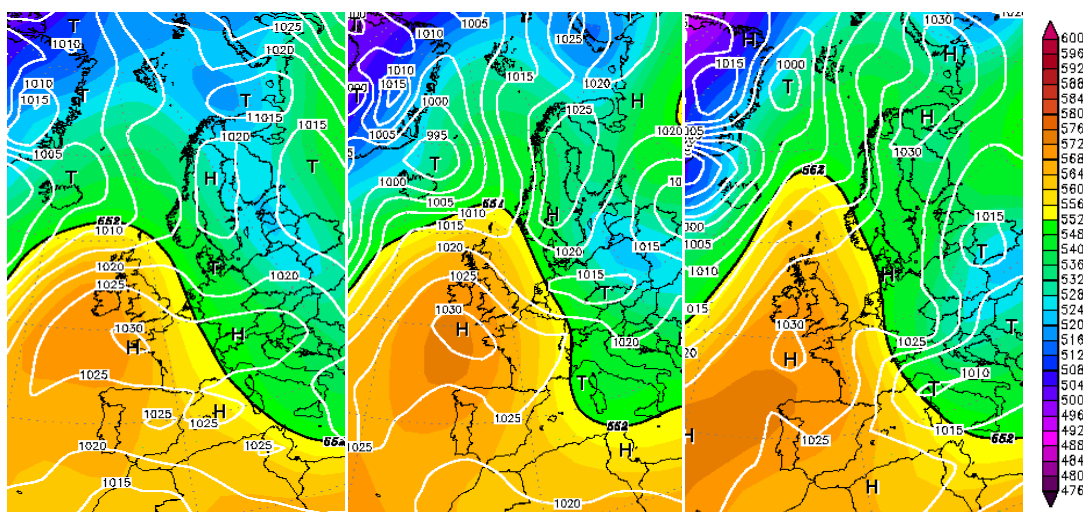


Fig. 4.21 D'esquerra a dreta, evolució isobàrica del 16 al 18 de febrer del 2009
Font: www.wetterzentrale.de

A la figura 4.21 s'observa que es tracta d'una situació anticiclònica, típica dels mesos de gener i febrer, però amb la peculiaritat que es donen uns vents relativament intensos (especialment durant el dia 18 quan els valors mitjos arriben a superar els 15m/s) i

direcció variable (durant el dia 16 els vents són de component sud i al llarg dels dies 17 i 18 giren a nord-est). L'existència d'un centre d'altres pressions al sud de les Illes Britàniques, afavoreix la formació d'un anticicló extens sobre el Mediterrani i nord d'Àfrica que impulsa vents de component nord-est durant els dies 17 i 18.

4.2.4 SÈRIE ANUAL

Per poder dur a terme els estudis en què es necessiten sèries llargues de temps s'ha escollit un any astronòmic (365 dies). És la unitat de temps mínima a partir de la qual es tornen a repetir els mateixos patrons meteorològics, i a més és suficientment llarga i conté prou dades per garantir certa fiabilitat en els estudis que es volen dur a terme.

L'ideal hagués estat escollir un any natural i utilitzar-ne totes les dades. Però com es comentarà en l'apartat 4.3, la disponibilitat de dades és bastant limitada. Això ha fet que en alguns mesos s'hagin hagut d'utilitzar dades de diferents anys. La intenció és que es modifiquin el mínim possible les pautes de comportament meteorològic i marítim.

Després de fer els canvis necessaris s'han acabat utilitzant els següents mesos:

- Gener 2010
- Febrer 2010
- Març 2010
- Abril 2008
- Maig 2009
- Juny 2009
- Juliol 2009
- Agost 2009
- Setembre 2009
- Octubre 2008
- Novembre 2008
- Desembre 2008 (inclou un dels episodis de llevant estudiats)

4.3 ESTUDIS REALITZATS

En la introducció i l'apartat 3, on s'han presentat els objectius, s'ha fet una explicació general de cadascun dels estudis que es realitzaran, relacionant-los amb l'objectiu que pretenen aconseguir. Aquest apartat aprofundeix en cadascun dels estudis, en particular en aspectes com:

- Explicació detallada de cada estudi.
- Les variables concretes que estudia i el tractament específic que rep cadascuna d'elles.
- Els grups d'estacions de mesura utilitzats en cada estudi, entre tots els que s'exposen en l'apartat 4.1.2
- Els períodes escollits per a cada estudi, entre tots els que s'exposen en l'apartat 4.2

En els següents subapartats s'exposen cadascun dels estudis realitzats seguint l'esquema anterior.

4.3.1 PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN PERÍODES DE TEMPORAL

Explicació de l'estudi

Aquest estudi consisteix en comparar les dades de vent corresponents a una estació meteorològica de terra, amb les dades de vent i onatge registrades per boies meteorològiques i oceanogràfiques pròximes. Tot això es fa en 4 situacions de temporal diferents (dos de llevant i dos de ponent) i una de calma marítima (totes elles han estat exposades en l'apartat 4.2), i per a les quatre parelles *estació meteorològica / boies meteo-oceanogràfiques* situades al llarg de la costa catalana (exposades en l'apartat 4.1.2). El fet de fixar-se en situacions de temporal en primera instància, és perquè se suposa que és en aquestes situacions quan les dades poden presentar més diferència entre les mesures realitzades a terra i sobre el mar i a més asseguruen que el flux de vent té la mateixa direcció. Aquestes situacions més crítiques són les que tenen un major interès pràctic. Per altra banda, l'objectiu d'escollir diferents punts de mesura al llarg de la costa catalana, és determinar si el comportament de les variables d'estudi és atribuïble a aspectes locals, o si al contrari, es tracta d'un comportament generalitzat i independent de la localització de les estacions de mesura.

L'estudi es compon de dos subestudis: en el primer es determina el comportament de les intensitats de vent i les relaciona amb l'alçada d'ona existent en cada moment, el segon estudia com es comporten les direccions del vent (mesurades a terra i al mar) i de l'onatge. En aquest cas els estudis són qualitatius i les gràfiques permeten fer-se una idea bàsica de quin és el comportament de les variables que es volen estudiar.

- Estudis de vents i onatge

Alguns dels seus resultats més representatius s'inclouen en el subapartat corresponent de resultats d'aquesta tesina. El gruix complet de tots els resultats figura en l'annex de resultats.

Aquest estudi consta de tres tipus de gràfiques diferents:

- I. Sèrie temporal de velocitats de vent: en ella es mostren la velocitat mitjana del vent mesurada a terra a 10m, la velocitat mitjana del vent mesurada sobre el mar a 3m, i la ràfega màxima de vent mesurada també sobre el mar a 3m. Aquesta gràfica proporciona les primeres informacions de com es comporta el vent en situacions de temporal. A més també permet avaluar la validesa del perfil logarítmic (Hsu et al, 1994) per relacionar les dades mesurades sobre el mar per les boies de la XIOM, amb les dades mesurades a terra a primera línia de la costa per les estacions del SMC. El fet d'incloure també la ràfega màxima de vent en la superfície del mar, dóna una primera idea de la diferència existent entre els valors mitjos i els valors extrems que presenten les velocitats del vent registrades per la boia meteorològica.
- II. Sèrie temporal de la diferència entre velocitats del vent: aquesta gràfica calcula la diferència percentual que hi ha entre la velocitat mitja del vent mesurada per la boia meteorològica (a

3m), i la velocitat mitja del vent mesurada per l'estació meteorològica terrestre (a 10m). Els càlculs que cal fer són els següents:

$$\% = \frac{V_{v_3} - V_{v_{10}}}{V_{v_{10}}} \cdot 100 \quad (3) \text{ Fórmula de càlcul de les diferències percentuals}$$

On: V_{v_3} és la velocitat mitjana del vent mesurada per la boia a 3m.

$V_{v_{10}}$ és la velocitat mitjana del vent mesurada per l'estació de terra a 10m.

% és el percentatge en el qual V_{v_3} és superior a $V_{v_{10}}$.

Dóna una visió més concreta de les diferències entre les velocitats mitjanes, i permet contrastar les primeres impressions obtingudes en la sèrie temporal anterior. Aquestes dades seran realment importants per al segon estudi, l'estudi probabilístic.

III. Sèrie temporal d'alçades d'ona: aquesta és la última gràfica, inclou l'alçada d'ona significant i l'alçada d'ona màxima. Si es grafica amb la mateixa escala de temps permet veure si existeix alguna coincidència entre el comportament dels vents i l'alçada d'ona en cada moment. D'aquesta manera es pot avaluar el grau de dependència entre el comportament dels vents i l'alçada d'ona existent.

- Estudi de les direccions

En aquest cas l'estudi va centrat en comprovar si, a més de les intensitats de vent, les direccions també varien en funció de si estan mesurades a terra o sobre el mar. També es comparen les direccions de vent i onatge. En cas de ser coincidents no caldrà fixar-se en les direccions del vent en la resta d'estudis de la tesina, en cas de ser diferents caldrà estudiar també les direccions a més de les intensitats de vent. De la mateixa manera que en el cas anterior, alguns dels resultats més representatius s'inclouen en l'apartat de resultats d'aquesta tesina, i la totalitat dels casos es troben en l'annex de resultats.

S'han realitzat dos tipus de gràfiques diferents:

I. Sèrie temporal de direccions del vent: aquesta gràfica mostra les direccions del vent mesurades per l'estació meteorològica de terra a 10m, i les direccions del vent mesurades per la boia meteorològica a 3m. D'aquí es pot concloure ràpidament si les direccions són coincidents.

II. Sèrie temporal de direccions d'onatge: aquí s'inclouen les direccions d'onatge existents en cada moment. Gràficades a la mateixa escala de temps, permeten corroborar si aquestes coincideixen o no amb les direccions dels vents. A més també són una manera de verificar la naturalesa de cadascun dels temporals.

Així doncs aquest primer estudi hauria de constar d'un total de 100 gràfiques. En realitat en té 52, ja que en alguns casos no es disposa de les sèries de dades completes, per tant es desestima realitzar la gràfica si aquesta no ha d'aportar cap informació significativa.

Variables estudiades

1. Variables obtingudes a les estacions meteorològiques de terra:

- Velocitat mitja del vent (10m)
Aquesta variable s'estudia amb l'objectiu de comparar-la amb la velocitat mitja del vent registrada per la boia meteorològica (3m), per tant es tracta d'una de les variables principals si tenim en compte els objectius de l'estudi. Aquestes sèries de dades es proporcionen amb freqüència horària, així doncs han hagut de seguir cap tractament específic abans de ser graficades.
- Direcció mitja del vent
Després de la intensitat (velocitat), la direcció és la variable més important pel que fa referència al vent. Aquesta variable influeix directament en la operativitat de qualsevol activitat costanera, ja que la direcció del vent té tanta o més importància que la intensitat en l'angle de deriva que pateixen les embarcacions. Aquesta dada tampoc ha requerit cap tractament especial.

2. Variables obtingudes a la boia meteorològica:

- Velocitat mitja del vent (3m)
Juntament amb la velocitat del vent (10m) de les estacions meteorològiques de terra, aquesta és la variable principal de la tesina. Abans de publicar-les, les dades que mesuren les boies a 3m d'alçada es passen a 10m. Per al procediment d'estandarització a 10m s'utilitza la fórmula del perfil logarítmic de vents (2). Així doncs, per poder analitzar les dades és necessari tornar a passar-les al seu valor original (3m) utilitzant la mateixa fórmula..

$$u_{10} = u_3 \cdot \left(\frac{10}{3}\right)^{0,11} \quad (2) \text{ Fórmula del perfil logarítmic de vents (Hsu et al, 1994)}$$

On: u_3 és la velocitat del vent a 3m. (m/s)

u_{10} és la velocitat del vent a 10m. (m/s)

D'altra banda cal tenir en compte que les boies meteorològiques són els únics sistemes que donen les dades cada 10 min. Per tal d'obtenir les dades amb la mateixa freqüència (horària) en totes les estacions i poder-

les comparar, cal fer la mitja aritmètica dels grups de dades que es troben en la mateixa franja horària. Es considera que les dades que pertanyen a una mateixa franja horària són les que van de l'hora en punt fins al minut 50. Tot seguit s'exposa un exemple, on destacades en negreta es troben les dades d'una mateixa franja horària.

*16:40, 16:50, 17:00, 17:10, 17:20, 17:30, 17:40, 17:50, 18:00, 18:10
i s'associen a les 17:00*

El criteri per a la realització de les mitjanes ha estat el mateix per a totes les variables obtingudes amb les boies meteorològiques al llarg de tota la tesina.

- Ràfega màxima de vent (3m)
Aquesta variable és menys important que l'anterior en aquest estudi, ja que es tracta d'un valor que es dona en un instant determinat i no es prolonga en el temps. És útil per caracteritzar una mica millor el vent que bufa sobre el mar. Igual que en la variable anterior, les dades publicades són a 10m d'alçada, i per tant, cal obtenir les dades originals a 3m utilitzant la fórmula (3). En aquest cas les dades disponibles també són en intervals de 10 min, però en tractar-se de valors màxims, el que es fa és buscar el màxim de tots els valors que es trobin dins la mateixa franja horària en lloc de fer-ne la mitjana aritmètica.
- Direcció mitja del vent
Comparada amb la direcció del vent registrada per l'estació meteorològica de terra, aquesta variable permet determinar si els vents mesurats sobre el mar i sobre terra tenen la mateixa direcció. En provenir d'una boia meteorològica les sèries d'aquesta variable també es troben en intervals de 10 min i per tant cal fer les mitjanes de totes les dades que es troben dins la mateixa franja horària. En aquest cas és necessari fer mitjanes vectorials de les direccions registrades dintre la mateixa franja horària. En l'annex de càlcul es defineix la mitjana vectorial i com es calcula.

3. Variables obtingudes a la boia d'onatge:

- Alçada d'ona significant
L'alçada d'ona significant es pot definir de dues maneres diferents:
 - a) En funció de l'alçada d'ona ($H_{1/3}$): es considera que l'alçada d'ona significant com l'alçada mitjana del terç d'onades més altes.
 - b) En funció de l'espectre de l'onatge (H_{M0}): és un paràmetre espectral de l'onatge considerat com estructural o d'escala. Es defineix com quatre vegades l'arrel quadrada del moment d'ordre zero de l'espectre (àrea delimitada per la funció de densitat espectral). L'espectre de l'onatge va associat sempre a la seva energia, per tant, per facilitar la comprensió de la definició, es pot dir que H_{M0} es calcula a partir de l'energia associada a l'onatge.

Malgrat tot, els valors que resulten són pràcticament coincidents, fins al punt que en molts casos és indiferent treballar amb una o amb l'altra. Per a la realització d'aquesta tesina s'han pres els valors de HM0.

Aquesta és la variable més significativa en temes d'onatge, ja que és la que millor caracteritza l'estat del mar en un període de temps determinat (en aquest cas una hora), i que s'utilitza en la majoria d'estudis científics. En aquesta tesina l'alçada d'ona té interès en la mesura en que pot modificar les característiques del vent sobre la superfície marina. Primerament, cal dir que l'onatge es presenta davant del flux laminar del vent com una rugositat. A mesura que l'alçada d'ona augmenta, la seva ondulació també ho fa, i la rugositat també. La posició de la boia en el moment de realitzar la mesura té una influència directa sobre l'alçada real a la qual s'està mesurant el vent. Les boies mesuren de forma alternativa en el sinus i la cresta de l'onada, per tant depenent de l'alçada d'ona existent en cada moment pot succeir que la boia estigui realitzant mesures consecutives a alçades reals molt diferents. Cal tenir en compte que quan la boia pren una mesura a la cresta de la ona, està prenent una dada a una altura equivalent a la meitat de l'alçada d'ona més l'alçada del pal de mesura. En canvi, quan està en el sinus de la ona, està mesurant a una altura equivalent al pal de mesura menys la meitat de l'alçada d'ona (veure figura 4.22).

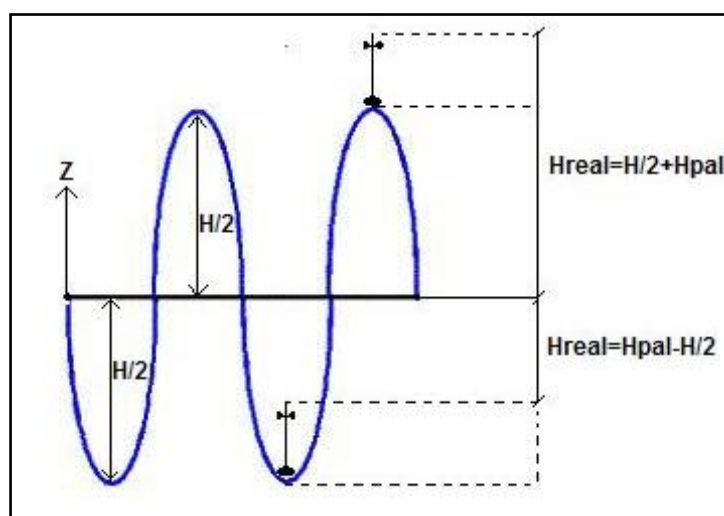


Fig. 4.22 Influència de l'alçada d'ona en l'alçada real de mesura.

En primera instància, interessa verificar que tal i com s'intueix, l'alçada d'ona influeix en la distorsió que pateix el vent sobre el mar (veure figura 1.1 de la introducció). En cas que això succeeixi, interessa quantificar de quina manera ho fa. Aquesta variable no requereix cap tractament específic ja que s'obté directament en freqüència horària.

- Alçada d'ona màxima

L'alçada d'ona màxima, no té el pes específic de l'alçada d'ona significant. Aquesta variable ens indica l'alçada d'ona més alta que s'ha donat en el període de temps estudiat (en aquest cas una hora). Però com tots els valors màxims, no té perquè reflectir completament l'estat general del mar. L'interès en aquest cas, és caracteritzar millor l'estat

del mar en el període d'estudi. Aquestes dades no requereixen cap tractament específic.

- Direcció mitja de l'onatge

Com ja s'ha dit, en aquesta tesina l'onatge és important com a agent modificador de la principal variable d'estudi que és el vent. En aquest cas la seva importància resideix en el fet que ens ajuda a determinar o contrastar la naturalesa del temporal marítim. És per tant una variable secundària. En estar obtingudes amb freqüència horària, igual que la resta de dades de la boia d'onatge, aquestes dades no requereixen cap tractament específic.

Grups d'estacions de mesura

Per a la realització d'aquest estudi s'han escollit quatre grups d'estacions de mesura, cadascun d'ells compost per una estació meteorològica de terra del SMC o de l'APB, una boia oceanogràfica de la XIOM, i una boia meteorològica també de la XIOM. Com ja s'ha dit, l'objectiu d'escollir quatre grups diferents ubicats al llarg de tota la costa catalana és quantificar fins a quin punt el comportament del vent sobre el mar és o no un fenomen local, a més de tenir una base de dades més àmplia.

Els quatre grups d'estacions de mesura utilitzats en aquest estudi són:

- Estació meteorològica de Sant Pere Pescador (SMC), boia meteorològica de Roses (XIOM), i boia d'onatge de Roses (XIOM).
- Estació meteorològica de Malgrat de Mar (SMC), boia meteorològica de Blanes (XIOM), i boia d'onatge de Blanes (XIOM).
- Estació meteorològica de La Sirena (APB), boia meteorològica del delta del Llobregat (XIOM), i boia d'onatge del delta del Llobregat (XIOM).
- Estació meteorològica de l'Illa de Buda (SMC), boia meteorològica de Cap Tortosa (XIOM), i boia d'onatge de Cap Tortosa (XIOM).

Períodes escollits

Els períodes escollits per aquest estudi són els dos temporals de llevant, els dos de ponent, i la situació de calma marítima i vents intensos, que s'han explicat en els apartats 4.2.1, 4.2.2, i 4.2.3 respectivament. L'objectiu d'escollir diferents tipus de situacions és avaluar tota la casuística possible, o si més no les situacions més rellevants que es donen a la costa catalana.

4.3.2 ESTUDI PROBABILÍSTIC

Explicació de l'estudi

En aquest segon estudi l'objectiu és obtenir una funció densitat de probabilitat per a cada grup d'estacions de mesura i per a cada tipus de temporal (llevant i ponent). Aquesta funció ha de ser capaç d'estimar la probabilitat que, donada una situació de

temporal marítim (alçada d'ona significant superior a 1,5m), la velocitat mitjana del vent en la superfície marina mesurada a 3m. sigui superior a la velocitat del vent mesurada en terra a 10m. en un determinat percentatge.

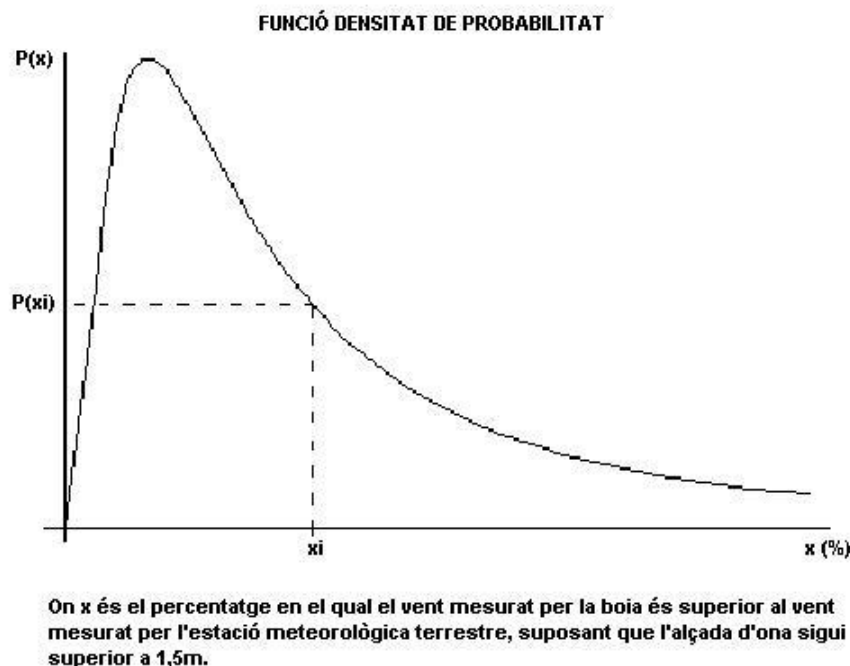


Fig. 4.23 Exemple de la funció densitat de probabilitat que es pretén obtenir

Per tal de dur a terme aquest estudi el primer que es necessita és la diferència entre les velocitats mitjanes expressada en termes percentuals. Aquestes dades ja estan disponibles, són les que s'han utilitzat per construir les sèries temporals *II* de “vents i onatge” del primer estudi, que s'exposen en l'apartat d'explicació de l'estudi corresponents a l'apartat 4.3.1.

Un cop fet això s'agrupen aquestes dades per grups d'estacions de mesures i per tipus de temporal, de tal manera que per a cada grup d'estacions de mesura es tenen dades corresponents a temporals de llevant (desembre del 2008 i octubre del 2009) i a temporals de ponent (gener del 2009 i novembre del 2009).

Seguidament, per a cada subgrup, s'aplica un filtratge que permet separar les dades que presenten alçades d'ona significant superior a 1,5m de les que no. Així doncs, es disposa de les dades que presenten alçades d'ona superiors a 1,5m per a cada grup d'estacions de mesura i tipus de temporal.

Arribats a aquest punt prosseguim a fer un seguit de representacions gràfiques:

- I. Histograma de freqüències: amb les dades anteriors es realitzen dos histogrames de freqüències per a cada grup d'estacions de mesura, un per a situacions de llevant, i un altre per a situacions de ponent. En cada histograma, les dades s'agrupen en grups d'una amplada de 25 punts percentuals.

Posteriorment, s'intenta aproximar una funció densitat per a cadascun dels histogrames. Vistos els resultats obtinguts, es decideix que la distribució estadística que més s'aproxima als resultats obtinguts és la distribució de màxims de Gumbel. Les característiques d'aquesta distribució estadística s'expliquen detalladament en l'annex

de càlcul. Per realitzar l'ajust s'utilitza el programa Easy Fit 5.5, que proporciona per a cada cas els paràmetres característics de la funció ajustada. Per a cadascuna de les funcions ajustades es realitza una gràfica.

- II. Gràfica de la funció densitat: un cop obtinguts els paràmetres que determinen la funció, aquesta gràfica permet comprovar si tal i com s'espera, les funcions ajustades s'assimilen als histogrames obtinguts anteriorment. Juntament amb aquestes gràfiques s'adjunten els paràmetres característics de les funcions obtingudes.

Prèviament a l'ajust de les funcions de densitat, s'ha realitzat un sanejament de les dades. Com es pot veure en els histogrames de l'apartat 5.2 de resultats i de l'annex de resultats, alguns grups reduïts de dades presenten una gran dispersió respecte al grup principal. Aquestes dades s'acostumen a donar quan els registres de vent mesurat sobre terra són petits, i per tant una petita variació dels registres sobre el mar provoca percentatges excessivament alts, que distorsionen els resultats obtinguts. Per això s'ha decidit excloure les dades que presentin un percentatge superior al 250%. En els histogrames les dades eliminades es representen per columnes negres.

Finalment es realitzen dos histogrames i dos ajustos més, uns per a temporals de llevant i els altres per a temporals de ponent, amb les dades de tots els grups d'estacions de mesura. L'objectiu és obtenir una funció de densitat global per a cada tipus de temporal.

Variables estudiades

En aquest cas, les principals variables d'estudi són les diferències percentuals entre les mesures simultànies de la boia meteorològica de la XIOM i les estacions meteorològiques de terra del SMC o l'APB. En el primer estudi ja s'ha explicat detalladament com s'obtenen les diferències percentuals: a partir de quines variables, la importància de cadascuna d'aquestes variables, l'aparell amb el qual han estat mesurades i els tractaments específics que han hagut de seguir.

1. Variables obtingudes a la boia d'onatge:

- Alçada d'ona significant
En el primer estudi (4.3.1) ja s'ha explicat què és l'alçada d'ona significant i el tractament específic que requereixen aquestes dades. Aquesta variable s'utilitza com a criteri de filtratge, permetent separar les dades simultànies que responen a una situació de temporal (presenten alçades d'ona significant superiors a 1,5m) de les que no.

Grups d'estacions de mesura

Pels mateixos motius que en l'estudi anterior, s'han escollit els mateixos grups d'estacions de mesura:

- Estació meteorològica de Sant Pere Pescador (SMC), boia meteorològica de Roses (XIOM), i boia d'onatge de Roses (XIOM).

- Estació meteorològica de Malgrat de Mar (SMC), boia meteorològica de Blanes (XIOM), i boia d'onatge de Blanes (XIOM).
- Estació meteorològica de La Sirena (APB), boia meteorològica del delta del Llobregat (XIOM), i boia d'onatge del delta del Llobregat (XIOM).
- Estació meteorològica de l'Illa de Buda (SMC), boia meteorològica de Cap Tortosa (XIOM), i boia d'onatge de Cap Tortosa (XIOM).

Períodes escollits

Els temporals escollits s'han explicat extensament en els apartats 4.2.1 i 4.2.2, i responen perfectament a les característiques bàsiques dels temporals més representatius de la costa catalana. A més també pot ser interessant comprovar si les apreciacions de caràcter general que s'han fet en el primer estudi, es veuen recolzades pels resultats del segon.

4.3.3 PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN SÈRIES LLARGUES DE TEMPS

Explicació de l'estudi

L'objectiu és determinar com es comporten la intensitat màxima i la intensitat mitjana de vent en relació amb l'alçada d'ona significant i la direcció del vent, en sèries mínimament llargues i contínues de temps. Aquest estudi torna a basar-se en la realització i observació de gràfiques. Igual que en el primer cas l'objectiu és la determinació de patrons generals de comportament, i per tan una de les maneres més ràpides i entenedores de fer-ho, és mitjançant gràfics. La principal diferència respecte al primer estudi és que s'analitza en un període molt més llarg de temps, fet que permet estudiar una casuística molt més àmplia (temporal marítim i meteorològic, temporal meteorològic i calma marítima, calma total), i per tant veure com es comporten en general les variables en cadascuna d'aquestes situacions.

En l'estudi s'han escollit les dades d'una sèrie anual, corresponents a un dels grups d'estacions de mesura, i s'han comparat per identificar els patrons de comportament. A pesar que el període d'anàlisi sigui de llarga durada, s'han agafat les dades amb freqüència horària. Ha estat necessari disposar de totes les sèries en la mateixa freqüència, i per tant en alguns casos s'han hagut d'extreure els valors mitjans de les variables en freqüència horària durant tot un any. Els tractaments específics que ha seguit cada variable seran degudament explicats en l'apartat de variables estudiades. Cal esmentar que moltes de les variables analitzades en aquest tercer estudi així com els tractaments que aquestes requereixen, ja s'han exposat en estudis previs, en aquests casos es faran referències directes als estudis anteriors.

En aquest cas s'han realitzat quatre tipus de gràfiques diferents:

- I. Evolució temporal de velocitats mitjanes de vent: aquesta gràfica inclou les velocitats mitjanes del vent mesurades a terra a 10 m i sobre el mar a 3m, amb freqüència horària. Permet copsar ràpidament les característiques generals del comportament d'aquestes dues variables en sèries llargues de temps. Finalment permet avaluar les diferències entre situacions de temporal (com les estudiades fins al moment), situacions de calma marítima però no meteorològica, i situacions de calma total.
- II. Evolució temporal de ràfegues màximes de vent: aquesta gràfica inclou les ràfegues màximes de vent mesurades en les estacions meteorològiques de terra i en les boies meteorològiques. De la mateixa manera que a la gràfica anterior ens permet visualitzar amb molta facilitat l'evolució d'aquestes variables i comparar-les. Cal recordar que les ràfegues màximes de vent són interessants perquè comparades amb les respectives velocitats mitjanes, permeten fer-se una idea de les dispersions que presenta el vent sobre el mar i sobre terra i comparar-les.
- III. Evolució temporal d'alçada d'ona significant i la direcció de l'onatge: aquesta gràfica conté l'alçada d'ona significant i la direcció de l'onatge. Donat que l'objectiu principal de la tesina és comparar les mesures de vent realitzades sobre terra a primera línia de la costa i sobre el mar, i relacionar-les amb les condicions d'onatge. Es compara l'evolució de l'alçada d'ona significant i la direcció d'onatge amb la de les intensitats de vent. Aquestes dues variables permeten identificar ràpidament les situacions de temporal marítim.
- IV. Evolució temporal de les direccions de vent: aquesta gràfica conté la direcció del vent registrada per la boia meteorològica. En els apartats 2.2 i 4.2 (on es descriuen les situacions marítimes i meteorològiques típiques de la costa catalana i els temporals estudiats), s'explica que el comportament de les intensitats de vent depèn de la naturalesa de la situació que s'estigui donant (sigui un temporal o no), que al seu torn es defineix per la direcció de procedència del vent. Això fa necessari estudiar també la direcció del vent.

Aquest estudi només es realitza per una de les parelles d'estacions de mesura, el format per l'estació meteorològica del SMC de Malgrat de mar i la boia de la XIOM de Blanes (delta de la Tordera). Les gràfiques es presenten en sèries mensuals, per tant hi ha 12 grups de quatre gràfiques, 48 en total.

Variables estudiades

1. Variables obtingudes a les estacions meteorològiques de terra:

- Velocitat mitja del vent (10m)

La importància i el tractament que requereixen aquestes dades ja s'han exposat en el subapartat de "variables estudiades" del primer estudi (apartat 4.3.1).

- Ràfega màxima de vent (10m)

Aquesta variable no s'havia estudiat prèviament. L'objectiu de fer-ho és poder-la comparar amb la ràfega màxima de la boia meteorològica. D'aquesta manera es pot veure quina és la relació entre els valors màxims i comparar-la amb els valors mitjans. El tractament necessari per aquesta sèrie de dades es limita a la seva ordenació i verificació, ja que no és necessari realitzar cap tipus de mitjana.

2. Variables obtingudes a la boia meteorològica:

En aquest estudi ha calgut tractar una gran quantitat de dades, al voltant de les 52.500 per cada variable obtinguda amb la boia meteorològica.

- Velocitat mitja del vent (3m)

La importància i el tractament que requereix aquesta variable ja s'han explicat en el subapartat "variables estudiades" del primer estudi (apartat 4.3.1).

- Ràfega màxima de vent (3m)

La importància i el tractament que requereix aquesta variable ja s'han explicat en el subapartat "variables estudiades" del primer estudi (apartat 4.3.1).

- Direcció mitja del vent

El tractament que requereix aquesta variable és el mateix que s'ha descrit en el primer estudi (4.3.1). En aquest cas el motiu del seu estudi és un altre, mentre que en el primer estudi es pretenia comparar-la amb la direcció del vent registrada per les estacions de terra, en aquest cas, s'utilitza per identificar la naturalesa de la situació meteorològica que s'està donant, de la qual depenen en bona part les característiques de les intensitats de vent.

3. Variables obtingudes a la boia d'onatge:

- Alçada d'ona significant

La importància i el tractament que requereix aquesta variable ja s'han explicat en el subapartat "variables estudiades" del primer estudi (apartat 4.3.1).

- Direcció mitja de l'onatge:

La importància i el tractament que requereix aquesta variable ja s'han explicat en el subapartat "variables estudiades" del primer estudi (apartat 4.3.1).

Grups d'estacions de mesura

Per aquest estudi es necessari disposar de sèries llargues i contínues de dades. La majoria de les sèries de dades dels diferents parells d'estacions de mesura són molt irregulars i presenten nombroses interrupcions en els períodes d'operativitat. L'únic parell d'estacions de mesura que presenta sèries raonablement llargues és el format per

l'estació meteorològica de Malgrat de Mar i la boia de Blanes. Aquesta és doncs, la principal raó per utilitzar només aquest parell d'estacions de mesura pel present estudi. Els resultats que s'obtidrien en la resta de casos serien poc representatius, degut als nombrosos buits de dades.

Períodes escollits

Per aquest estudi s'utilitza la sèrie de dades anual que es troba descrita en l'apartat 4.2.4. Recordar que s'ha escollit un any astronòmic com a període d'estudi ja que és la unitat mínima de temps a partir de la qual es tornen a repetir els mateixos patrons meteorològics. L'ideal hauria estat agafar un any natural, però la manca de dades durant alguns mesos ha obligat que en alguns casos s'hagi hagut de prendre el mateix més d'un altre any.

4.3.4 DETERMINACIÓ D'UNA FÓRMULA EMPÍRICA QUE PERMETI ESTIMAR ELS VENTS SOBRE EL MAR

Estudis específics

L'objectiu d'aquest estudi és determinar una fórmula empírica que permeti estimar el valor de la velocitat mitja del vent sobre el mar a 3m, a partir de la velocitat mitja del vent en terra a 10m i l'alçada d'ona significant. Per fer-ho es defineix el paràmetre "K". Aquest paràmetre no és res més que el quocient entre la velocitat mitja del vent sobre el mar a 3m d'alçada, i la velocitat mitja del vent mesurada en terra a 10m d'alçada. El paràmetre "K" serà clau per al desenvolupament de l'últim estudi.

$$K = \frac{V_{v_3}}{V_{v_{10}}} \rightarrow V_{v_3} = K \cdot V_{v_{10}} \quad (4) \text{ Fórmula utilitzada per a la determinació de "K"}$$

On: V_{v_3} és la velocitat mitjana del vent mesurada per la boia a 3m.

$V_{v_{10}}$ és la velocitat mitjana del vent mesurada per l'estació de terra a 10m.

Així doncs l'objectiu concret d'aquest apartat es tradueix en trobar funcions que permetin estimar el valor de K en funció de l'alçada d'ona.

Donat que les característiques del vent són diferents en funció de la seva procedència, es separen les dades tenint en compte la direcció del vent registrada per la boia meteorològica. En aquest cas s'ha diferenciat entre:

- **Situacions de llevant:** el vent prové del mar. Tenint en compte la orientació de la costa catalana (NE-SO), s'engloben dins aquest grup tots els vents que provenen del quadrant 45° i 135°. Serien les situacions que en l'apartat 2.3.2 s'ha descrit com a situacions de llevant.
- **Situacions de terral:** el vent prové de terra. S'engloben dins aquest grup tots els vents amb direccions entre 225° i 45°. Serien les situacions que es correspondrien més amb el que en l'apartat 2.3.2 s'ha definit com a situacions de ponent i mestral.

- Situacions de brises: el vent prové del mar. Els vents d'aquest grup es troben entre 135° i 225° . Cal remarcar que no tots els vents provenen d'aquestes direccions són brises, malgrat tot se'ls ha anomenat així ja que les brises són els vents més comuns en aquest rang de direccions. En l'apartat 2.3.2 s'han descrit les diferents situacions de sud que es poden donar a la costa catalana. En general aquestes situacions es caracteritzen per onatges poc elevats i vents d'intensitat mitjana, són típiques de dies calorosos al llarg de tot l'any, però tenen major presència i intensitat durant l'estiu.

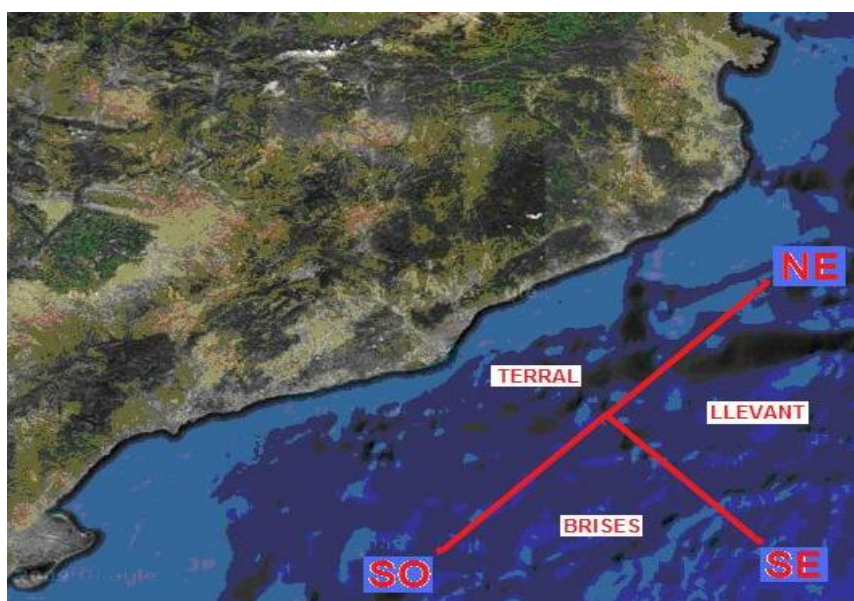


Fig. 4.24 Esquema del mètode de separació direccional

Després de separar les dades en funció de la direcció de procedència del vent, encara cal fer un últim filtratge per separar les dades que presenten alçades d'ona significant superior a 1,5m de les que no. Arribat aquest punt es disposa de totes les dades de la sèrie anual, separades en tres grups en funció de la direcció del vent mesurada per la boia meteorològica, i dins de cada grup separades en dos subgrups en funció de l'alçada d'ona significant.

Un cop feta la classificació anterior l'últim que cal fer és calcular el valor del paràmetre "K" per a cada parella de velocitats mitjanes de vent simultànies.

Finalment es procedeix a graficar les dades, i per a cada direcció de procedència s'aproxima una funció. En aquest cas s'escullen regressions lineals i funcions logarítmiques i se'n comparen els resultats. A més, dins de cada grup es comprova si existeix alguna diferència entre el comportament de les dades per a alçades d'ona significant inferiors a 1,5m, i per alçades d'ona significant superiors a 1,5m.

D'aquesta manera per a cada grup direccional es tenen dues gràfiques:

- I. Correlació HM0-paràmetre “K”: aquesta gràfica mostra els valors del paràmetre K en funció de l'alçada d'ona significant. Separa les dades en dos subgrups depenent de l'alçada d'ona significant, tal i com s'ha explicat, i s'aproxima una recta per cada subgrup per valorar si existeixen diferències de comportament entre l'un i l'altre. A més de les gràfiques s'inclouen les equacions de les funcions ajustades.
- II. Correlació general HM0-paràmetre “K”: un cop valorat si hi ha diferències de comportament en funció de l'alçada d'ona significant es procedeix a ajustar una funció per totes les dades del grup direccional (independentment de l'alçada d'ona significant). Es prova amb una regressió lineal, i també amb una funció logarítmica, i se'n comparen els resultats. També en aquest segon grup de gràfiques s'inclouran les equacions de les funcions ajustades.

Recapitulant, aquest últim estudi s'estructura en tres grups en funció de la direcció de procedència del vent registrat per la boia meteorològica. L'estudi consta de 6 gràfiques en total. Per cada grup es realitzen dues gràfiques, una per comparar si existeixen diferències de comportament en funció de l'alçada d'ona significant, i l'altre per ajustar una funció que estimi el valor del paràmetre “K” en funció de l'alçada d'ona significant.

Variables estudiades

S'utilitzen les dades de l'estudi anterior (apartat 4.3.3). Els tractaments que requereixen aquestes dades són els mateixos que es requereixen en el tercer estudi, que ja han estat explicats amb anterioritat en el subapartat de “variables estudiades” del primer estudi (apartat 4.3.1). En aquest cas l'objectiu d'estudiar cadascuna de les variables, és diferent i s'explica detalladament a continuació.

1. Variables obtingudes a les estacions meteorològiques de terra:

- Velocitat mitja del vent (10m)
L'objectiu d'estudiar aquesta variable és possibilitar la determinació del paràmetre “K” juntament amb la velocitat mitjana del vent registrada per la boia meteorològica a 3m.

2. Variables obtingudes a la boia meteorològica:

- Velocitat mitja del vent (3m)
L'objectiu d'estudiar aquesta variable és possibilitar la determinació del paràmetre “K” juntament amb la velocitat mitjana del vent registrada per l'estació meteorològica de terra a 10m.
- Direcció mitja del vent
En aquest últim estudi la direcció del vent juga un paper secundari. Ens serveix, tal i com s'explica en el subapartat anterior, per classificar les dades en funció de la direcció de procedència del vent.

3. Variables obtingudes a la boia oceanogràfica:

- Alçada d'ona significant

En aquest últim estudi té una importància crucial, ja que és aquesta la variable independent a partir de la qual es vol ajustar la funció que permeti estimar el valor del paràmetre “K”.

Grups d'estacions de mesura

Com s'ha explicat en l'apartat de variables estudiades, les dades utilitzades són una part de les utilitzades en l'estudi 4.3.3. El grup d'estacions de mesura també és el mateix: el format per les boies meteorològiques i d'onatge de la XIOM situades a Blanes (Delta de la Tordera), i l'estació meteorològica de Malgrat de Mar del SMC.

Períodes escollits

El període escollit és la sèrie anual que s'ha descrit en l'apartat 4.2.4.

5. RESULTATS

En aquest apartat es comenten els resultats que s'han obtingut amb els diferents estudis realitzats, donant resposta als objectius plantejats en l'apartat 3. També s'exposen temes que no responen a cap dels objectius concrets, però que resulten interessants, com per exemple la variabilitat dels resultats en funció de l'estació de mesura o del tipus de temporal. Les argumentacions fan referència tant a gràfiques taules i fórmules d'aquest mateix apartat, com a les de l'annex de resultats.

5.1 PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN PERÍODES DE TEMPORAL

5.1.1 ESTUDIS DE VENTS I ONATGE

- Episodi del 26/12/2009 al 29/12/2009 (temporal de llevant)

En les sèries temporals següents titulades “*velocitats del vent*” (Figures 5.1 i 5.4) així com a les que s'adjunten a l'annex de resultats i que porten el mateix títol, es pot veure que la velocitat mitjana del vent mesurada a primera línia de la costa a 10m. d'alçada, és inferior a la velocitat mitjana del vent mesurada sobre el mar per les boies a 3m, fet incompatible amb la hipòtesi d'un perfil logarítmic del vent.

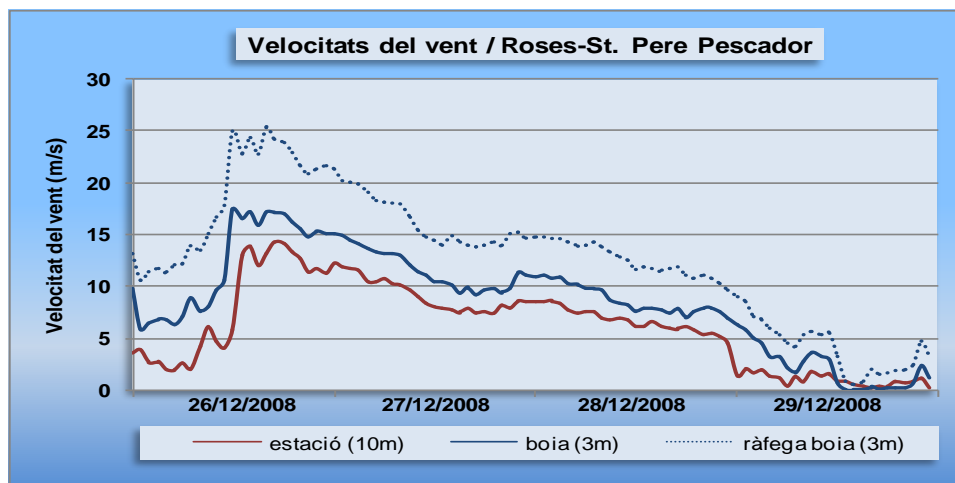


Fig. 5.1 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Roses-St. Pere Pescador)

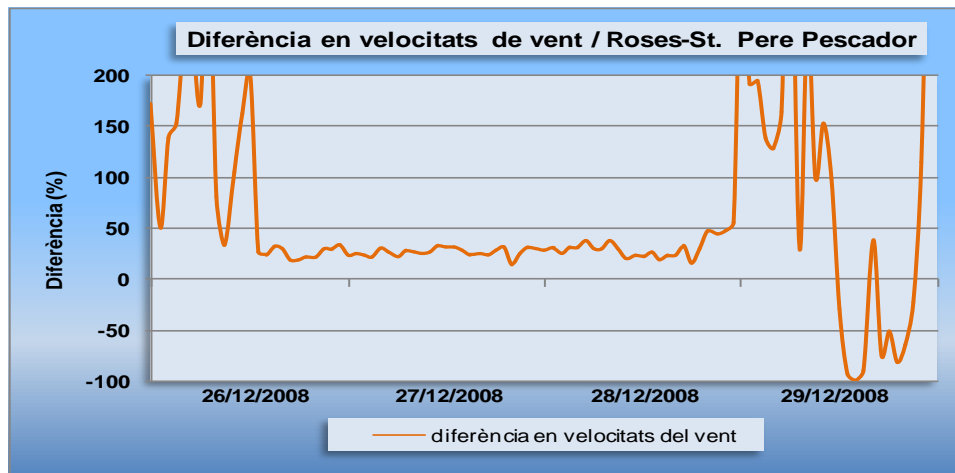


Fig. 5.2 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Roses-St. Pere Pescador)

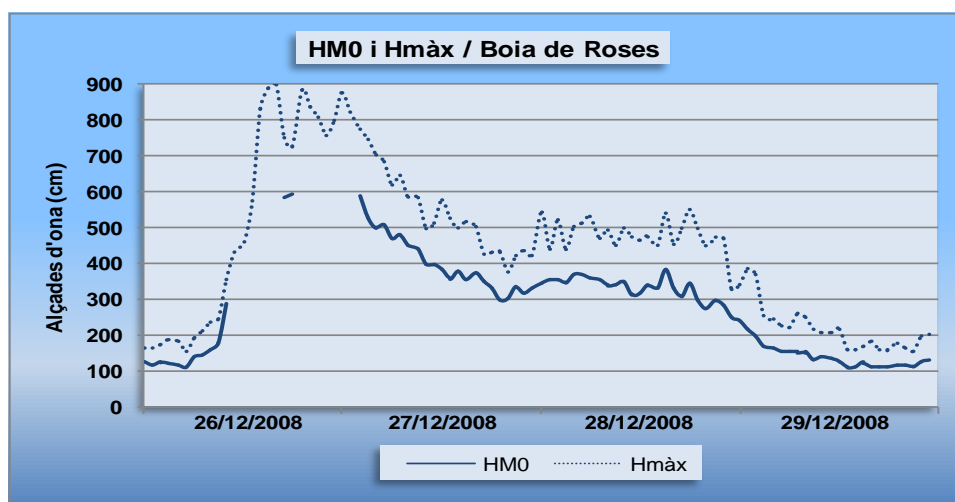


Fig. 5.3 Gràfica d'alçades d'ona (Roses-St. Pere Pescador)

En situacions de temporal, quan el flux de vent s'intensifica i es fa més constant i les alçades d'ona augmenten, s'observa una tendència a l'estabilització de la diferència percentual entre els vents mesurats a primera línia de mar per les estacions del SMC i els vents mesurats sobre el mar per les boies, que oscil·len entre el 15 i el 80%. Quan els temporals remeten les irregularitats en la diferència percentual augmenten de nou. Aquest fet s'observa especialment bé en les figures 5.2 i 5.5. També es posa de manifest que els valors al voltant dels quals s'estanca la diferència percentual tenen un marcat caràcter local. Mentre que per les estacions de Blanes-Magrà de Mar aquests valors es mouen entre el 50 i el 80%, a les estacions de Roses-St. Pere Pescador prenen valors entre el 15 i el 35%.

La irregularització dels valors de la diferència percentual quan les condicions de temporal s'afebleixen, es deu al fet que una petita diferència entre la intensitat de vent que mesura l'estació del SMC i la que mesura la boia (possiblement deguda a petits errors de mesura o a petites irregularitats en el camp de vents), s'acaba traduint en una diferència percentual elevada si la intensitat de vent sobre la qual calculem aquest percentatge és baixa.

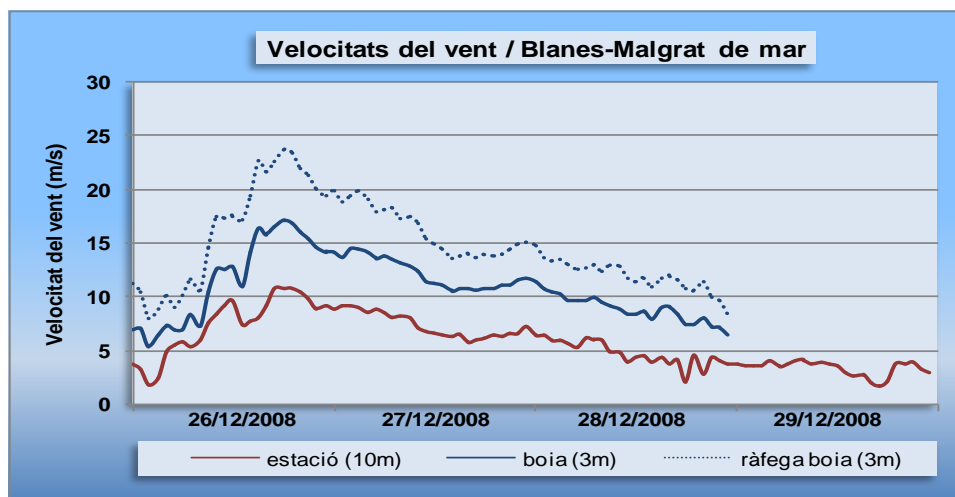


Fig. 5.4 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Blanes-Malgrat de mar)

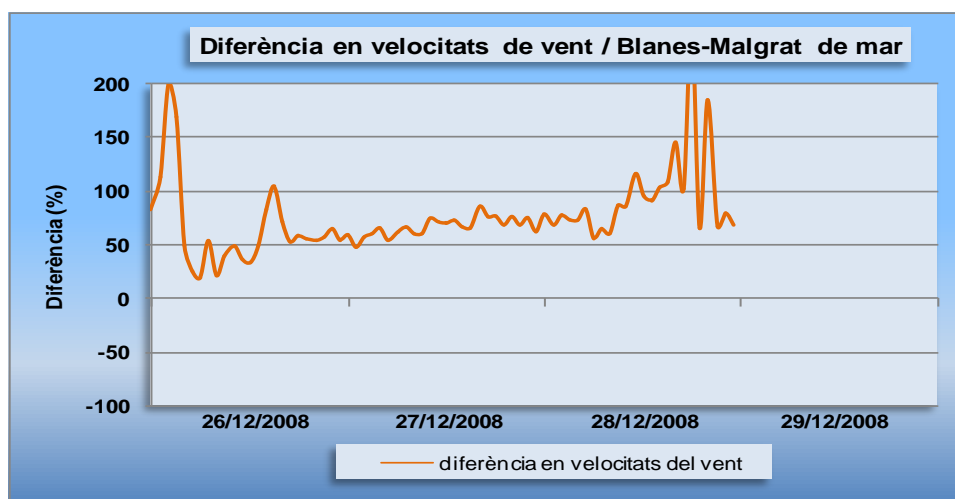


Fig. 5.5 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Blanes-Malgrat de mar)

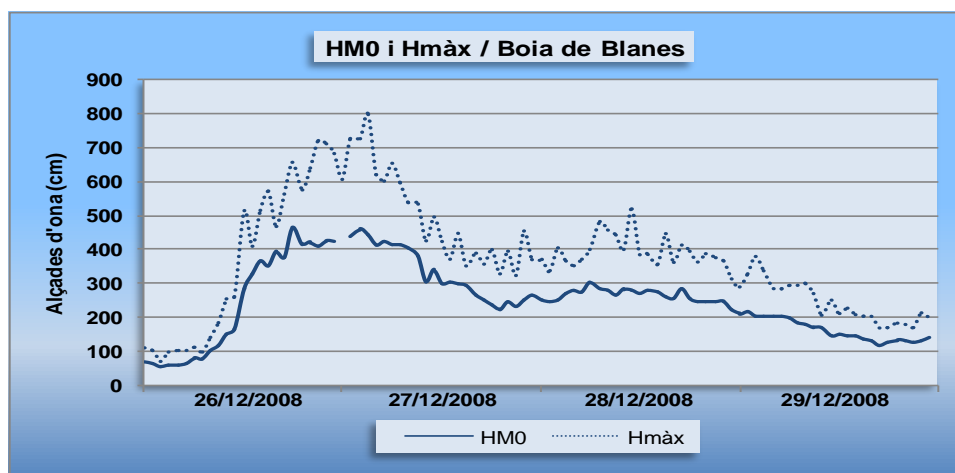


Fig. 5.6 Gràfica d'alçades d'ona (Blanes-Malgrat de Mar)

La regularització de les diferències percentuals en endurir-se les condicions de temporal, es posa clarament de manifest en situacions de llevant (veure figures 5.2 i 5.5). Com s'ha explicat en l'estat de l'art, aquest tipus de situacions es caracteritzen per un flux de vent constant tant en intensitat com en direcció, presentant intensitats de vent elevades que es combinen amb alçades d'ona molt grans, i conformant així les situacions de temporal més crítiques que es poden donar en el litoral català. Els temporals de llevant incideixen de forma especialment forta a la meitat nord de la costa catalana, no és estrany doncs que sigui en les estacions de Roses-St. Pere Pescador i Balnes-Malgrat de Mar on la regularització de les diferències percentuals en períodes de temporal de llevant es vegi més clarament (veure figures 5.2 i 5.5 i comparar-les amb les figures A2.7 a A2.9 de l'annex de resultats, que corresponen al parell d'estacions Tortosa-Illa de Buda durant el mateix període).

- Episodi del 23/01/2009 al 26/01/2009 (temporal de ponent)

La regularització de les diferències percentuals en augmentar les intensitats de vent i l'alçada d'ona que s'havia observat en temporals de llevant, no es dona en temporals de ponent.

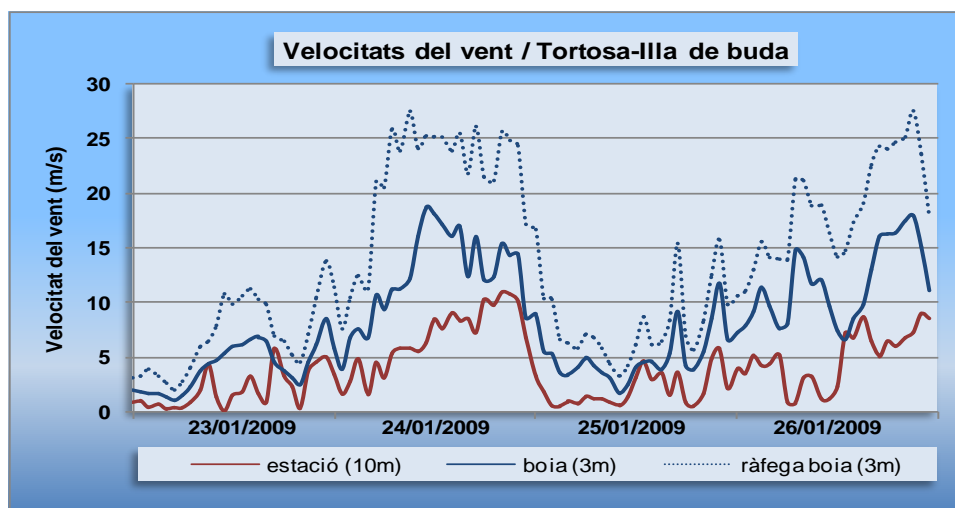


Fig. 5.7 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Tortosa-Illa de Buda)

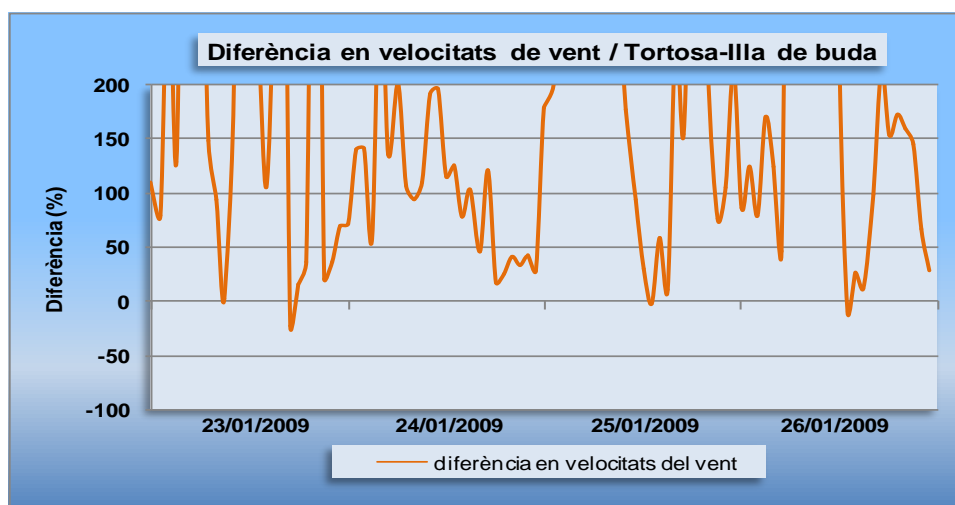


Fig. 5.8 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Tortosa-Illa de Buda)

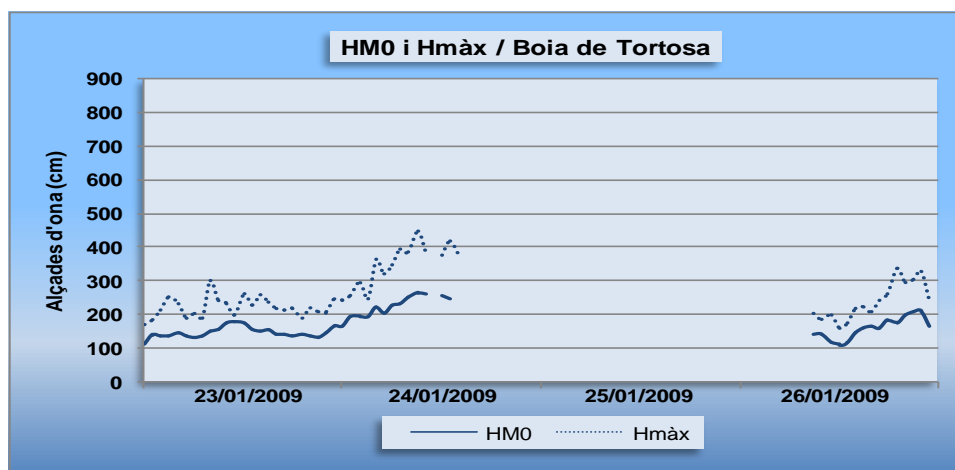


Fig. 5.9 Gràfica d'alçades d'ona (Tortosa-Illa de buda)

En les sèries temporals que s'acaben d'exposar no s'observa regularització de les diferències percentuals clara coincidint amb l'augment de les intensitats de vent i de l'alçada d'ona significant.

- Episodi del 16/02/2009 al 18/02/2009 (situació de calma marítima i vents intensos de direcció variable)

Les figures 5.10, 5.11 i 5.12 corresponen a un període de vents intensos de direcció variable i calma marítima. En elles es pot veure que la diferència percentual entre els vents mesurats a primera línia de la costa per les estacions del SMC a 10m i els vents mesurats sobre el mar per les boies meteorològiques de la XIOM a 3m, es mostra sempre molt irregular, tal i com també passa amb els temporals de ponent.

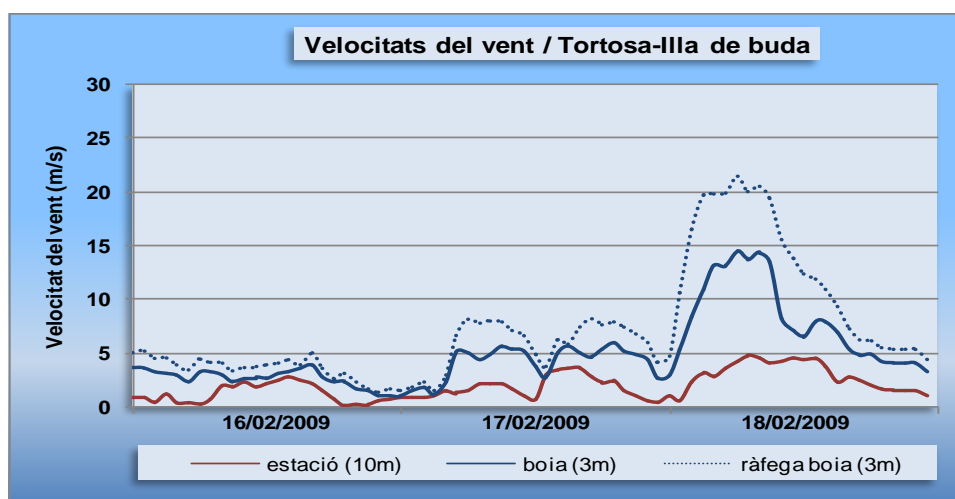


Fig. 5.10 Gràfica de velocitats mitjanes del vent (Tortosa-Illa de buda)

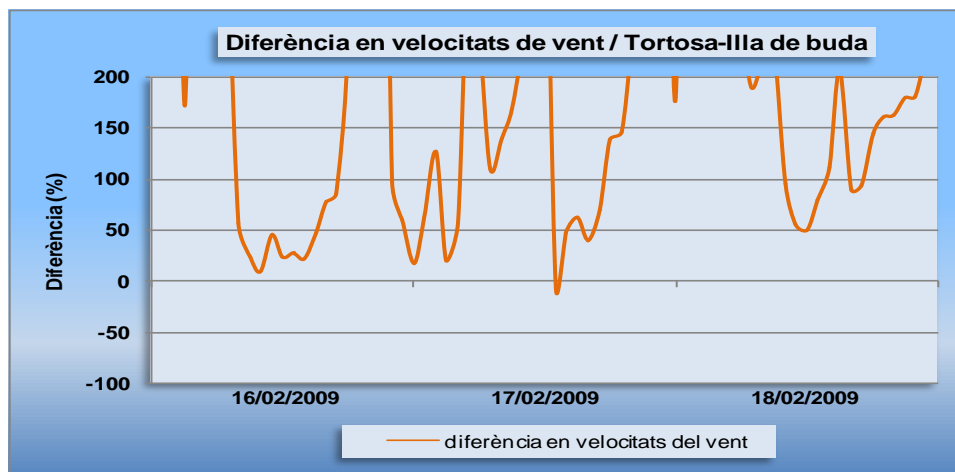


Fig. 5.11 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Tortosa-Illa de buda)

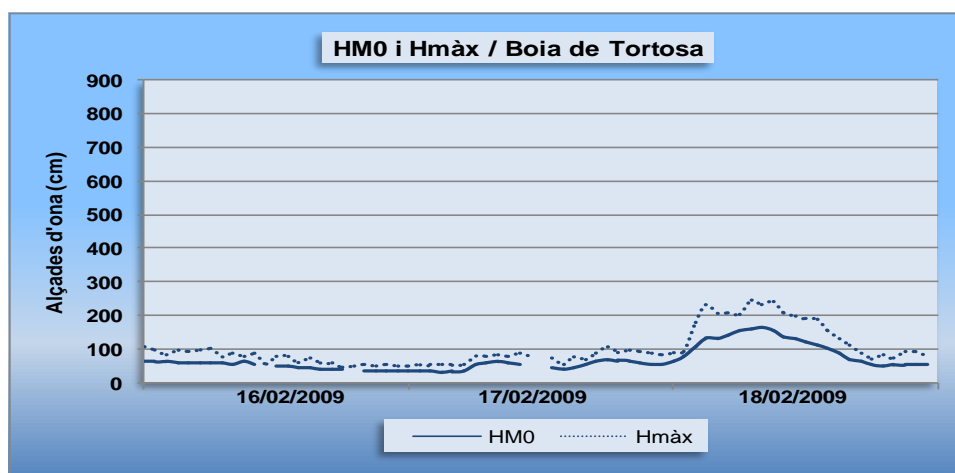


Fig. 5.12 Gràfica d'alçades d'ona (Tortosa-Illa de buda)

La diferència entre les ràfegues màximes de vent mesurades a 3m d'alçada per la boia de la XIOM i la velocitat mitjana registrada per la mateixa boia també a 3m, augmenta en termes absoluts (no en termes percentuals) en intensificar-se les condicions de temporal. Això es pot observar, per exemple, en la figura 5.1 corresponent al parell d'estacions Roses-St. Pere Pescador durant la llevantada de St. Esteve del 2008 on s'hi pot comprovar que la diferència entre ràfega màxima i velocitat mitjana augmenta fins a 8m/s durant la segona meitat del dia 26 coincidint amb el moment de màxima intensitat del temporal, mentre que els valors d'aquesta diferència en moments en que el temporal és menys intens es mouen entre els 3 i els 4 m/s. Com ja s'ha dit en apartats previs de la tesina, el fet que la boia mesuri de forma alternativa a la cresta i el sinus de l'onada, fa augmentar la diferència entre ambdós registres de vent quan augmenta l'alçada d'ona, ja que la diferència entre les alçades reals a les quals s'està mesurant aquest vent també ho fa (veure figura 4.22).

Comparant les diferències entre ràfegues màximes i velocitats mitjanes dels temporals de ponent amb les de la situació de calma marítima i vents intensos, aquest cop en termes percentuals, no s'observen diferències significatives. La ràfega màxima mesurada sempre és entre un 30 i un 50% superior al valor de la velocitat mitjana.

Per acabar l'apartat 5.1.1, es creu necessari destacar que en tots els casos estudiats, el parell d'estacions de mesura Llobregat-Port de Barcelona presenta majors irregularitats que la resta (veure figures A2.13 a A2.15, A2.16 a A2.18, A2.25 a A2.27, i A2.28 a A2.30 de l'annex de resultats). Com s'ha explicat en l'apartat 4.1.2, això es degut a la notable distància entre la boia del Llobregat i l'estació meteorològica de la Sirena, i també a les diferències entre les orografies dels respectius entorns.

5.1.2 ESTUDI DE LES DIRECCIONS

- Estudi del 26/12/2008 al 29/12/2008 (temporal de llevant)

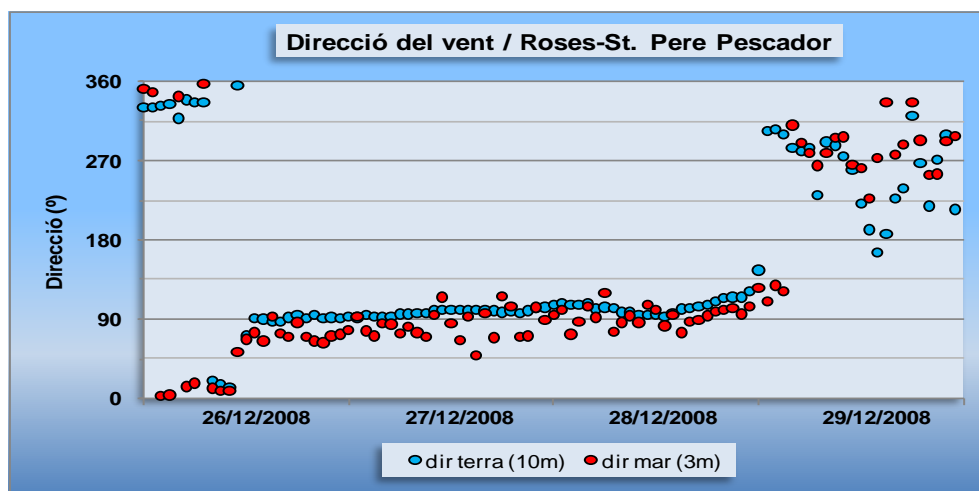


Fig. 5.13 Gràfica de les direccions del vent (Roses-St. Pere Pescador)

En la sèrie temporal 5.13 s'aprecien clarament dos característiques molt importants del comportament de les direccions del vent en temporals de llevant.

La primera és que quan les condicions de temporal s'endureixen (les intensitats de vent i alçades d'ona augmenten) les direccions del vent registrades per l'estació del SMC i la boia meteorològica de la XIOM tendeixen a coincidir. Les direccions registrades per la boia meteorològica presenten una desviació aproximada respecte les direccions registrades per les estacions meteorològiques de terra de $\pm 20^\circ$ (arribant en algun cas puntual fins a 45°). En canvi quan els temporals remeten, fet que en la sèrie temporal anterior succeeix a partir del dia 29/12/2008, les diferències entre les dues direccions s'accentuen (durant el dia 29 la diferència mitjana és de $\pm 50^\circ$, en alguns casos arribant fins als 90°).

La segona és que en situacions de temporal marcat, la desviació de les dades respecte la mitjana, és major per a les direccions registrades per les boies, que per les direccions registrades en les estacions del SMC.

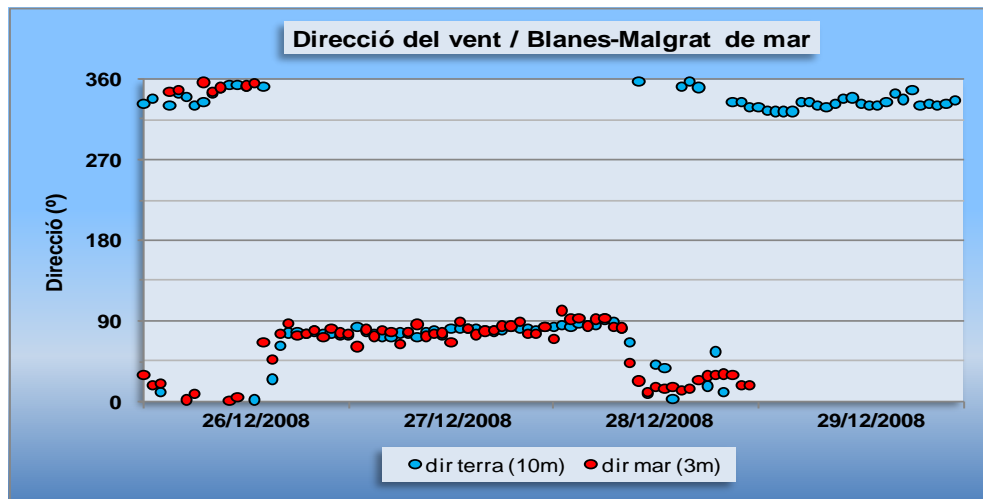


Fig. 5.14 Gràfica de les direccions del vent (Blanes-Malgrat de mar)

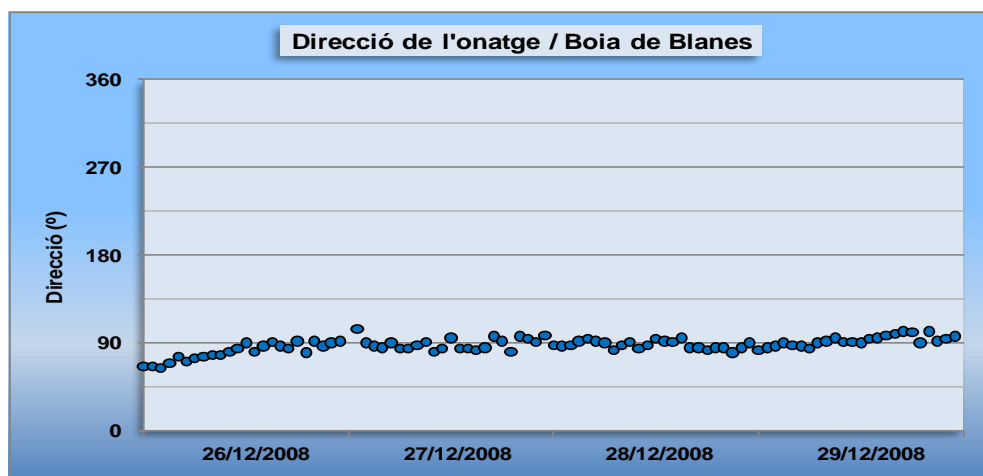


Fig. 5.15 Gràfica de la direcció de l'onatge (Blanes-Malgrat de mar)

En les figures 5.14 i 5.15 es pot veure que les direccions del vent i de l'onatge són coincidents en temporals de llevant. La transmissió de *momentum* del vent a la superfície de mar al llarg de tota la zona de *fetch* és el que fa que això succeeixi. També s'observa que les variacions de direcció es produeixen de forma molt més ràpida en els vents que en l'onatge, això es nota amb el fet que després d'un temporal la direcció de l'onatge persisteix durant més temps mentre que la del vent canvia sobtadament. L'aigua té més inèrcia que l'aire, això fa que sigui més difícil canviar-ne la direcció de forma sobtada quan aquesta s'està movent.

- Estudi del 23/01/2009 al 26/01/2009 (temporal de ponent)

Tal i com també succeeix amb els temporals de llevant, en la sèrie temporal 5.16, i també en la A2.44 de l'annex de resultats (corresponents al parell d'estacions de mesura Tortosa-Illa de Buda), es pot observar que la diferència entre els registres de direccions es redueix significativament durant el dia 24/01/2009 (la diferència mitjana durant el dia 23 és de 51° mentre que el dia 24 passa a ser de 12°), coincidint amb un augment notable tant de la intensitat del vent com de l'alçada d'ona (veure figures 5.7 i 5.9).

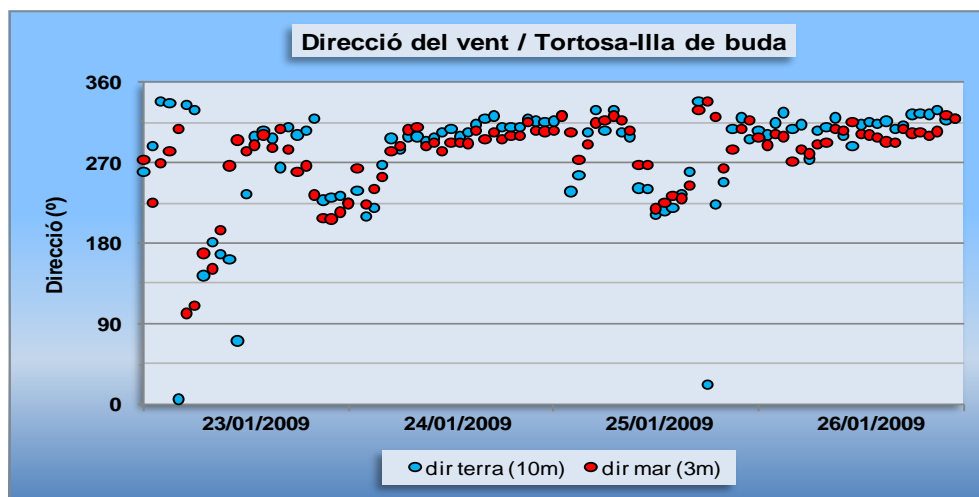


Fig. 5.16 Gràfica de les direccions del vent (Tortosa-Illa de buda)

- Estudi del 16/02/2009 al 18/02/2009 (situació de calma marítima i vents intensos de direcció variable)

En les figures 5.17 i 5.18, pertanyents a un episodi que combina vents intensos de direcció variable i alçades d'ona petites (veure figures 5.10 i 5.12), s'observa que les diferències entre les direccions del vent registrades per la boia meteorològica de la XIOM i les estacions del SMC continuen sent petites; tenen un valor mitjà de 25° i rarament superen els 45°.

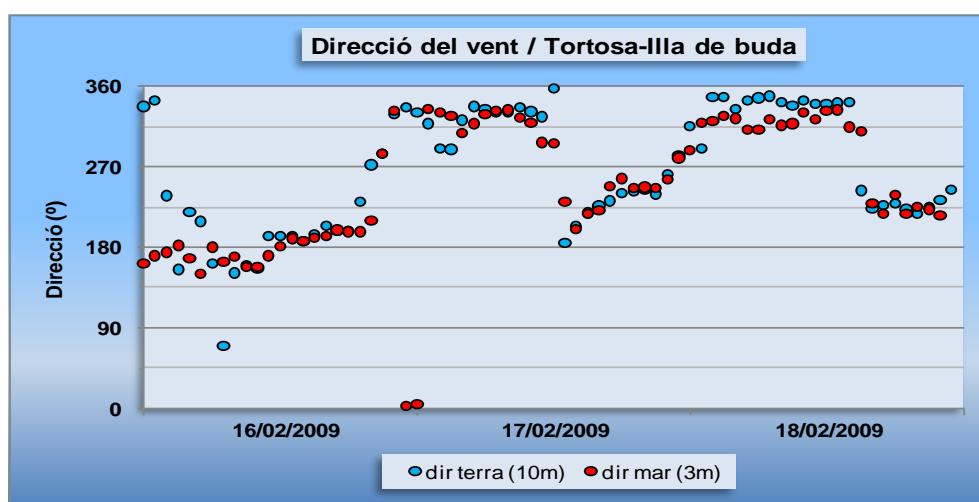


Fig. 5.17 Gràfica de les direccions del vent (Tortosa-Illa de buda)

Pel que fa a les direccions de l'onatge, en no haver-hi temporal marítim trobem que aquestes són variables, tal i com es pot apreciar en la sèrie temporal 5.18.

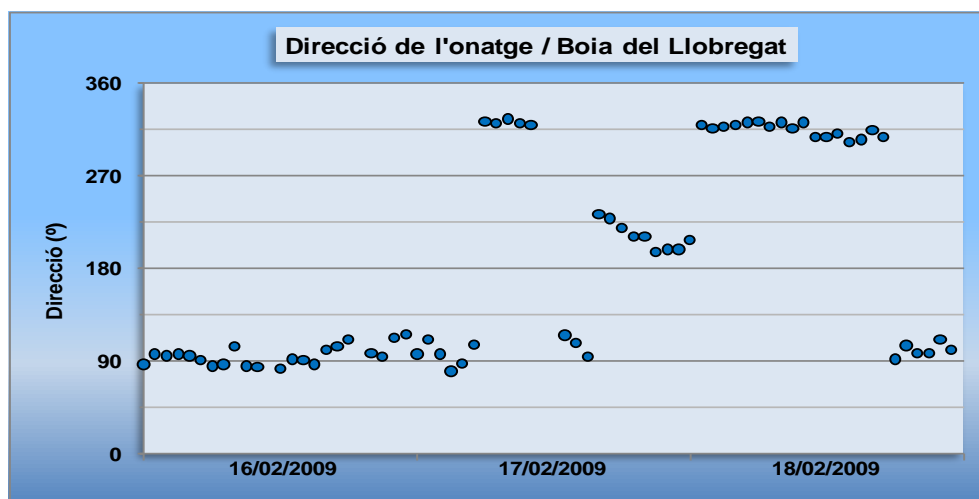


Fig. 5.18 Gràfica de la direcció de l'onatge (Tortosa-Illa de buda)

5.2 ESTUDI PROBABILÍSTIC

En el següent apartat figuren els histogrames de freqüències i les funcions de densitat ajustades, així com unes taules amb els valors dels paràmetres per a cada funció densitat ajustada. Tal i com s'explica en l'apartat 4.3.2, les funcions de densitat ajustades són funcions de Gumbel.

Tot i adaptar-se molt bé a funcions de densitat de Gumbel, en aquest segon estudi també s'observa que els histogrames de freqüències obtinguts mostren el marcat caràcter local que té el comportament de les intensitats de vent. Aquesta variació de comportament en funció del parell d'estacions de mesura, es tradueix en una variació dels paràmetres de la funció densitat de Gumbel ajustada. A continuació s'analitzen els resultats obtinguts més significatius. Cal recordar que les columnes destacades en negre corresponen a dades que han estat eliminades, tal i com s'ha explicat en l'apartat 4.3.2.

Roses-St. Pere Pescador i Blanes-Malgrat de mar

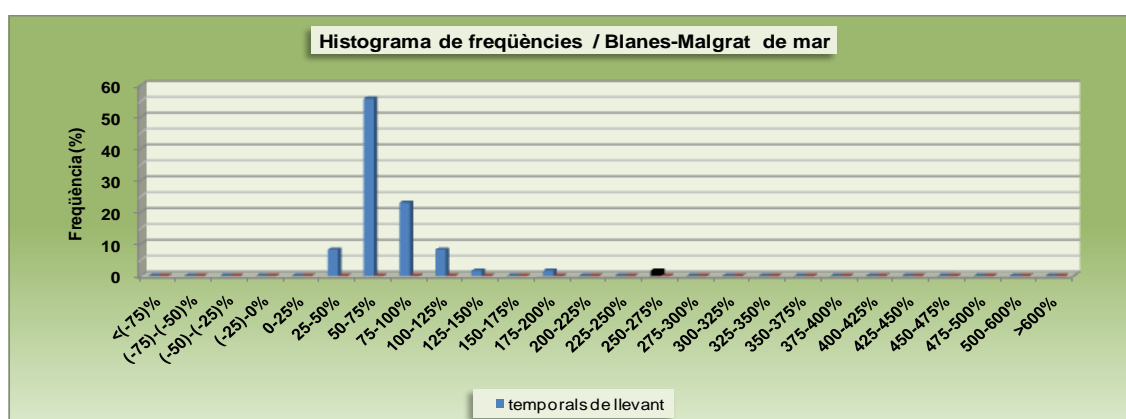


Fig. 5.19 Histograma de freqüències (Blanes-Malgrat de mar)

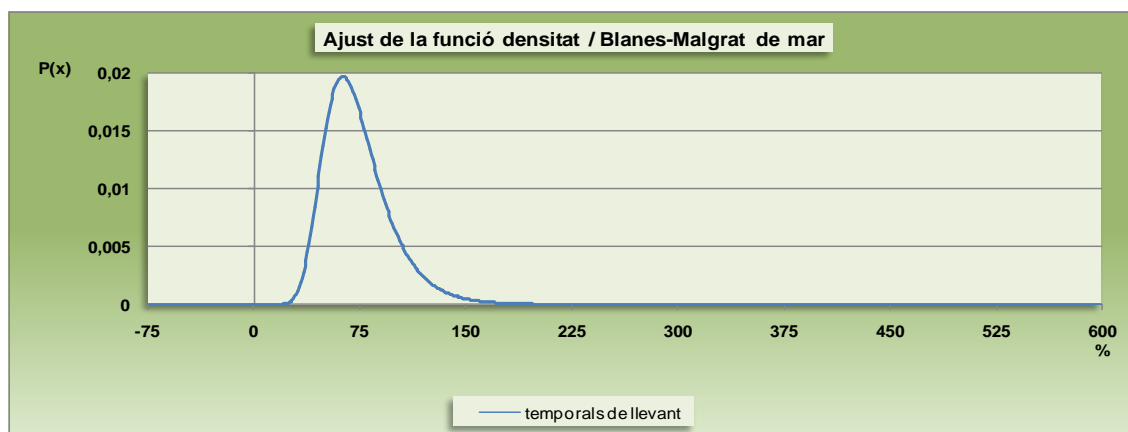


Fig. 5.20 Ajust de les funcions densitat de probabilitat de Gumbel (Blanes-Malgrat de mar)

	TEMPORALS DE LLEVANT	TEMPORALS DE PONENT
Roses-St. Pere Pescador		
μ	35,580	-
σ	37,295	-
Blanes-Malgrat de Mar		
μ	62,911	-
σ	18,634	-
Llobregat-Port de Barcelona		
μ	14,338	22,557
σ	59,776	39,093
Tortosa-Illa de Buda		
μ	50,716	95,290
σ	47,599	48,94

Taula 5.1 Paràmetres de les funcions densitat de Gumbel ajustades

En les figures 5.19 i 5.20 s'observa que per a temporals de llevant la funció de densitat ajustada s'adapta molt bé a la forma de l'histograma de freqüències. Això també succeeix amb les figures A2.53 i A2.54 de l'annex de resultats, que corresponen al parell d'estacions de mesura Roses-St. Pere Pescador. En la taula 5.1 es pot comprovar que per al parell d'estacions de mesura de Blanes-Malgrat de Mar, la desviació típica que presenten les dades en temporals de llevant és considerablement menor que per la resta de parelles d'estacions (que s'exposaran i es comentaran seguidament). Això també succeeix per a la parella d'estacions de mesura Roses-St. Pere Pescador, tot i que en menor mesura. Per tant les parelles d'estacions de mesura del nord de la costa catalana presenten una menor desviació típica que la resta per a temporals de llevant. Per aquestes dues parelles d'estacions de mesura no es disposa de l'ajust corresponent a temporals de ponent. Això és es deu a la manca de dades de les boies de la XIOM i al fet que en temporals de ponent les onades difícilment assoleixen alçades grans. Després d'obtenir les dades disponibles i aplicar el filtratge en funció de l'alçada d'ona significant, no queda cap dada apta per a l'ajust.

Llobregat-Port de Barcelona

En les figures A2.57 i A2.59 de l'annex de resultats, es pot comprovar que per aquest parell d'estacions de mesura, la funció ajustada en temporals de llevant no s'adapta gaire bé a l'histograma corresponent. A més la desviació típica és la més alta de tots els parells d'estacions de mesura (veure taula 5.1). Els dos aspectes que s'acaben de comentar també queden reflectits en el fet que és necessari eliminar una gran quantitat de dades per poder realitzar un ajust en condicions (tot i que aquest no acabi sent gaire bo).

En temporals de ponent l'ajust és considerablement bo, la forma de la funció de Gumbel ajustada s'acosta molta la forma de l'histograma. Si es miren les dades de la taula 5.1 es pot veure que la desviació típica de les dades és molt inferior a la obtinguda per a temporals de llevant. Malgrat tot cal comentar que aquest ajust està fet amb una base de dades petita, ja que per aquesta parella d'estacions de mesura hi ha poques dades de temporals de ponent amb alçades d'ona significant superiors al metre i mig, per tant aquesta observació té poca rellevància a nivell de resultats.

Cal recordar que l'estació meteorològica de la Sirena, al Port de Barcelona, es troba molt allunyada de la boia del Llobregat. Aquesta distància excessiva i la diferent orografia dels respectius entorns és una de les causes principals de la dificultat a l'hora d'intentar ajustar una funció de densitat per aquest parell d'estacions de mesura.

Tortosa-Illa de buda

En les figures A2.59 i A2.60 de l'annex de resultats es pot comprovar que per aquest parell d'estacions de mesura els ajustos no són bons, ni per temporals de ponent ni per temporals de llevant. La forma de les funcions de Gumbel ajustades dista bastant de la dels respectius histogrames de freqüències. A més, en la taula 5.1 també es pot observar que les desviacions típiques són considerablement elevades per als dos tipus de temporal.

Per a temporals de llevant s'han hagut d'eliminar un nombre significatiu de dades per poder realitzar un ajust en condicions, malgrat que finalment no s'ajusti gaire bé a la forma de l'histograma. Per temporals de ponent no ha estat necessari eliminar tantes dades, però succeeix el mateix que en el parell d'estacions Llobregat-Port de Barcelona: l'ajust ha estat fet amb poques dades i per tant als resultats obtinguts els manca fiabilitat.

Global

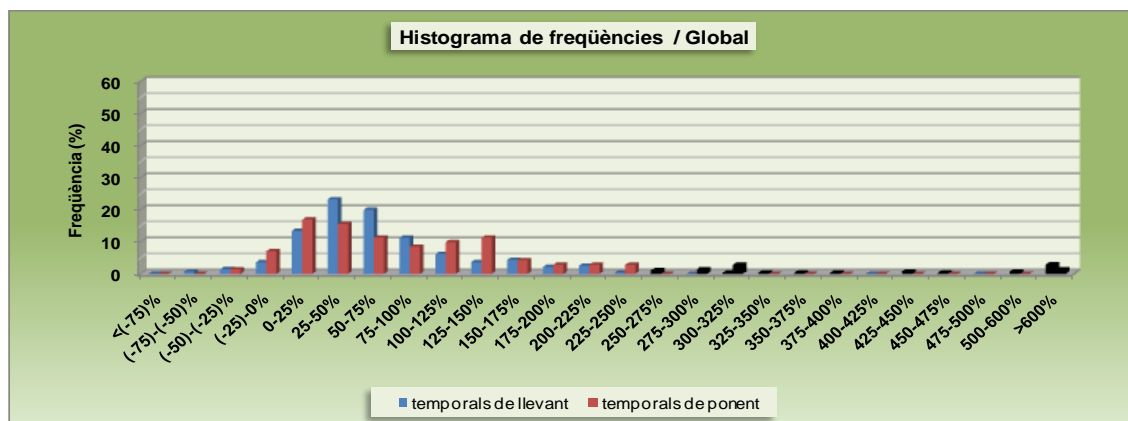


Fig. 5.21 Histograma de freqüències (Global)

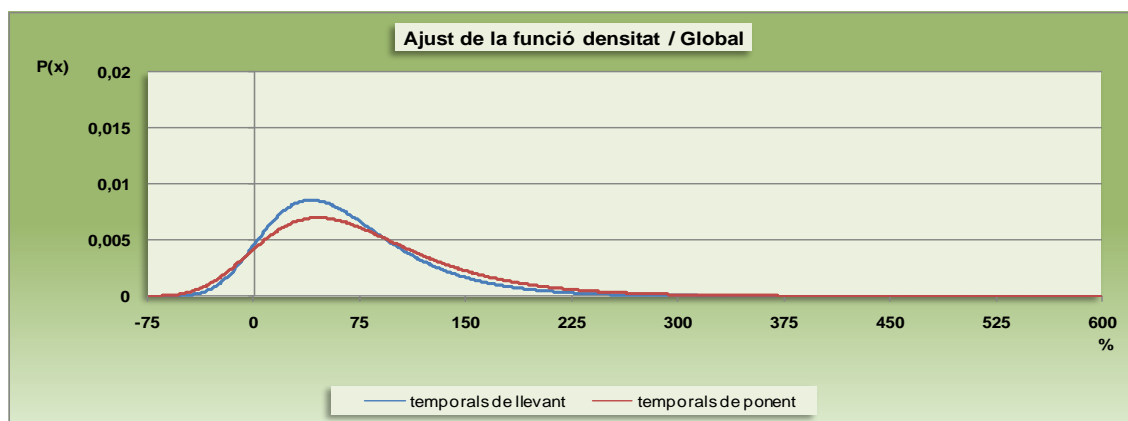


Fig. 5.22 Ajust de les funcions densitat de probabilitat de Gumbel (Global)

	TEMPORALS DE LLEVANT	TEMPORALS DE PONENT
μ	40,461	45,270
σ	42,802	52,463

Taula 5.2 Paràmetres de la funció densitat de Gumbel (Global)

Finalment s'han realitzat dos ajustos més, un per a temporals de llevant i l'altre per a temporals de ponent, amb les dades de totes les parelles d'estacions de mesura. Els resultats obtinguts són molt bons tant per a temporals de llevant com de ponent. Tal i com es pot veure en les figures 5.21 i 5.22, les funcions de densitat de Gumbel ajustades presenten formes pràcticament iguals a les dels histogrames de freqüències.

Per fer l'ajust global no es disposa d'una base de dades suficientment àmplia amb la qual fer l'ajust per a temporals de ponent, és per això que tot i ser bons els resultats, se n'ha de relativitzar també la importància.

Finalment comentar que la desviació típica global en temporals de llevant és menor que en temporals de ponent, tal i com es veu en la taula 5.2.

5.3 PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN SÈRIES LLARGUES DE TEMPS

Aquest estudi té com a objectius comprovar que es compleixen les característiques generals del clima marítim mediterrani i també veure com es comporten les intensitats de vent en totes les situacions possibles, ja que fins aquest moment només s'han estudiat situacions de temporal (vents intensos i alçades d'ona grans) i situacions de calma marítima amb vents intensos. Tot seguit es presenten els resultats més significatius.

El primer que s'observa en les gràfiques de la sèrie anual, és que els vents mesurats a primera línia de mar per les estacions del SMC són, en general, inferiors als vents mesurats sobre el mar per les boies meteorològiques de la XIOM. Això succeeix tant amb les velocitats mitjanes com amb les ràfegues màximes, i independentment de la situació meteorològica i marítima. Aquest comportament té alguns matisos diferents, que s'expliquen a continuació.

Gener 2010

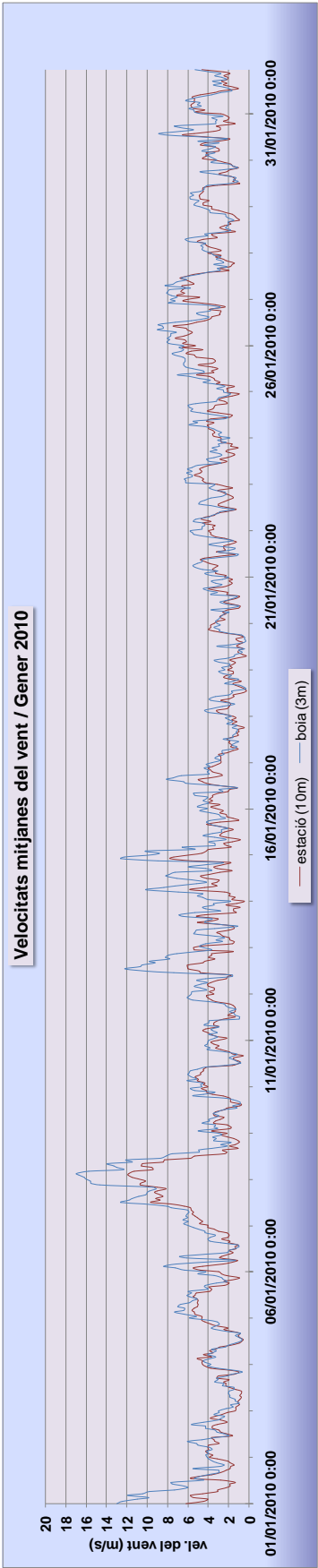


Fig. 5.23 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual gener 2010)

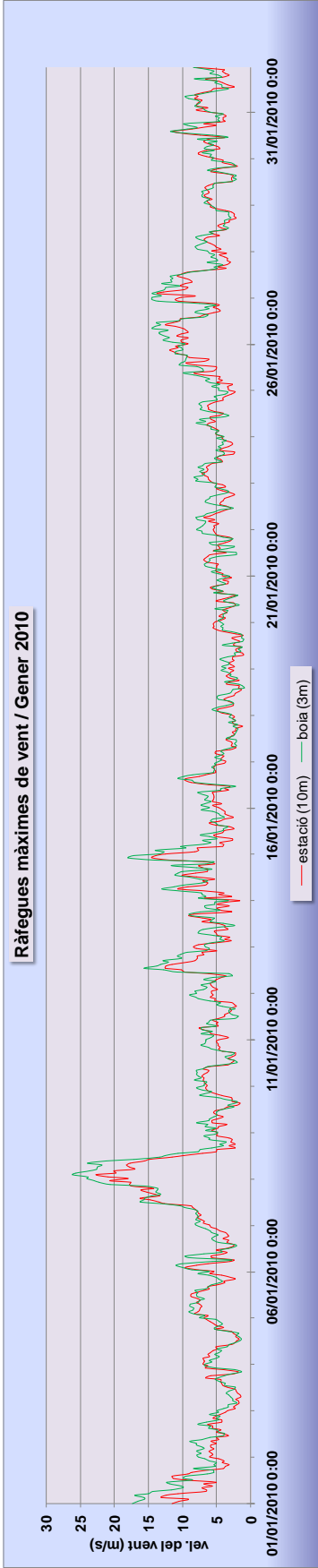


Fig. 5.24 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual gener 2010)

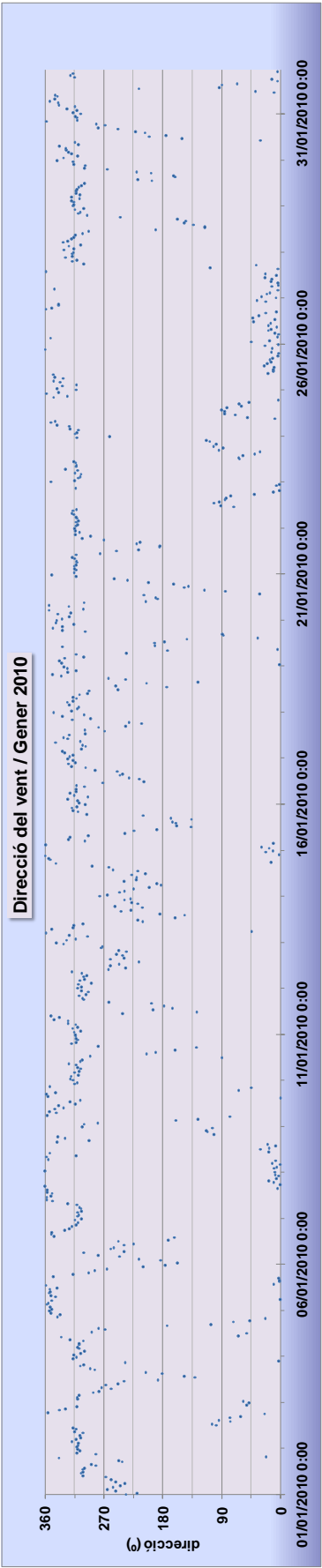


Fig. 5.25 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual gener 2010)

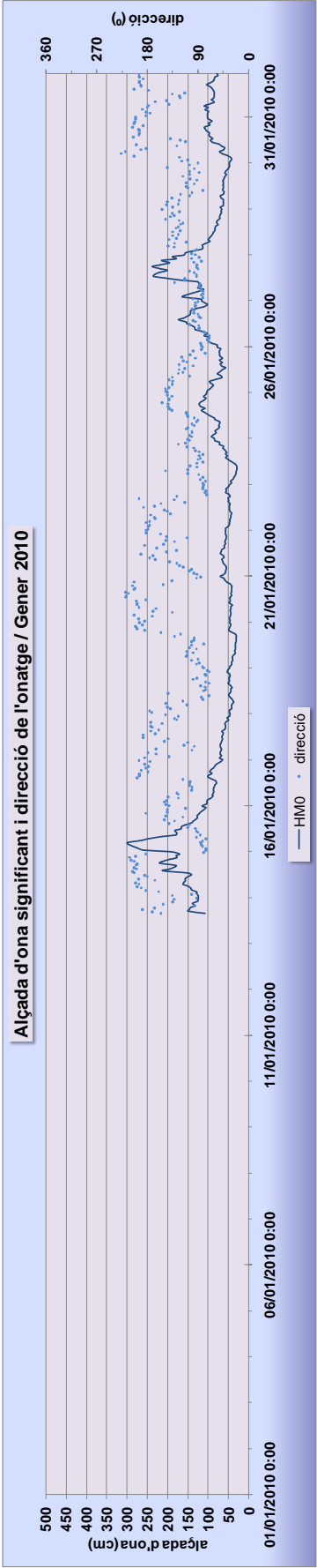


Fig. 5.26 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual gener 2010)

Tal i com es pot veure en les figures corresponents al mes de gener del 2010 (figures 5.23 a 5.27), les diferències entre les intensitats de vent (en termes absoluts, no percentuals) registrades per la boia meteorològica i per l'estació del SMC augmenten quan augmenten les condicions de temporal, i disminueixen quan aquestes també ho fan. Aquest comportament s'observa tant en les velocitats mitjanes com en les ràfegues màximes. Aquest fet queda clar en les sèries temporals de les figures 5.23 a 5.27 entre els dies 18 i 22 de gener quan l'alçada d'ona baixa per sota dels 50 cm i les diferències entre velocitats del vent es fan considerablement més petites. També es pot comprovar en les figures A2.67 a A2.70 de l'annex de resultats, corresponents al mes de febrer de 2010, on es dona un augment de les diferències (també en termes absoluts) durant la segona meitat de mes coincidint amb un enduriment significatiu de les condicions marítimes i meteorològiques.

La diferència entre ràfegues màximes, és en termes mitjans, menor que la diferència entre velocitats mitjanes. A partir de totes les dades que conformen la sèrie anual, es pot calcular que les velocitats mitjanes que registren les boies meteorològiques són de mitjana un 52,75% superiors a les que registren les estacions del SMC, mentre que les ràfegues màximes només ho són en un 10,15%. Això indica que el vent és molt més ratxejat sobre terra i més constant sobre el mar.

Durant els mesos d'estiu, que s'adjunten en l'annex de resultats (figures A2.83 a A2.94), hi ha llargs períodes amb l'alçada d'ona significant inferior al mig metre, on els registres de vent, tant pel que fa a velocitat mitjana com a ràfega màxima, presenten diferències molt petites (rarament superen els 2-3 m/s).

Comentar també que en el global de les sèries temporals estudiades s'identifiquen les característiques principals del clima meteorològic i marítim típic de la costa catalana, descrit en l'apartat 2.3.1. Es poden veure entre altres, els llargs períodes de calma marítima típics de l'estiu on apareix l'alternança de vents terral-marinada, l'aparició de les brises típiques també dels mesos d'estiu, la concentració de la major part de les situacions de temporal en els mesos de primavera i tardor (en alguns casos també el mes de desembre, considerat el principi de l'hivern), o les situacions de calma marítima conegudes com "*les minves de gener*" que es donen durant algunes setmanes d'hivern com s'ha explicat a l'apartat 2.3.

5.4 DETERMINACIÓ D'UNA FÓRMULA EMPÍRICA QUE PERMETI ESTIMAR ELS VENTS SOBRE EL MAR

De l'anàlisi de les dades d'aquest estudi, es pot comprovar que no és possible determinar una fórmula que proporcioni el valor del paràmetre "K" en funció de l'alçada d'ona significant. El fet d'utilitzar l'alçada d'ona significant com a variable independent és una manera de relacionar el comportament del paràmetre "K" amb la magnitud del temporal. Com es pot veure en les figures 5.27 i 5.28 així com en totes les de l'annex de resultats (figures A2.111 a A2.116), els valors dels coeficients de correlació R^2 són en tots els casos molt petits. Aquest fet indica que de les dades que s'han obtingut no es pot extreure res més que tendències en el comportament del paràmetre "K".

Malgrat no sigui possible determinar una fórmula empírica, si que es poden observar diferències en el comportament del paràmetre "K" depenent de la direcció de

procedència del vent. Tot seguit s'explicaran els resultats obtinguts per a terrals, brises, i llevants i s'exposaran les gràfiques i càlculs més representatius.

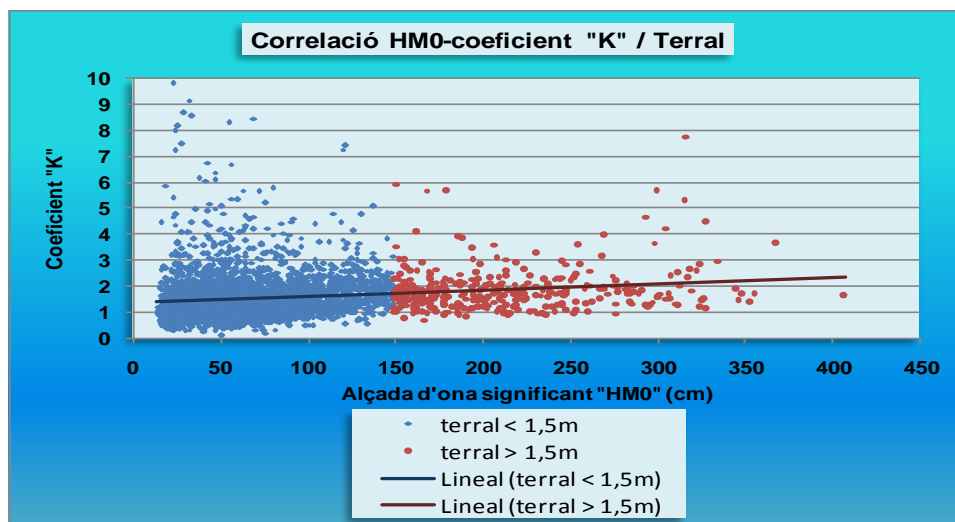


Fig. 5.27 Correlació entre H_0 i el paràmetre "K" separant en funció de H_0 (Terral)

Equacions de les rectes:

$$y = 0,002x + 1,373 \quad (R^2 = 0,003) \quad \text{quan } H_0 < 1,5\text{m}$$

$$y = 0,002x + 1,333 \quad (R^2 = 0,023) \quad \text{quan } H_0 > 1,5\text{m}$$

La figura 5.27 posa de manifest que en situacions de terral l'alçada d'ona significativa no té cap influència en el comportament del paràmetre. La tendència d'aquest paràmetre és constant tant per alçades d'ona inferiors a 1,5m com per alçades d'ona significativa superiors. Com es pot comprovar en les equacions adjuntes els pendents de les rectes són els mateixos i les ordenades a l'origen són pràcticament idèntiques. Això fa pensar que en aquest cas una funció recta hauria d'aproximar el comportament del total de les dades lleugerament millor que una funció logarítmica, cosa que es pot comprovar en la figura A2.112 de l'annex de resultats i en les equacions adjuntes, on la R^2 de la regressió lineal és superior a la R^2 de la funció logarítmica.

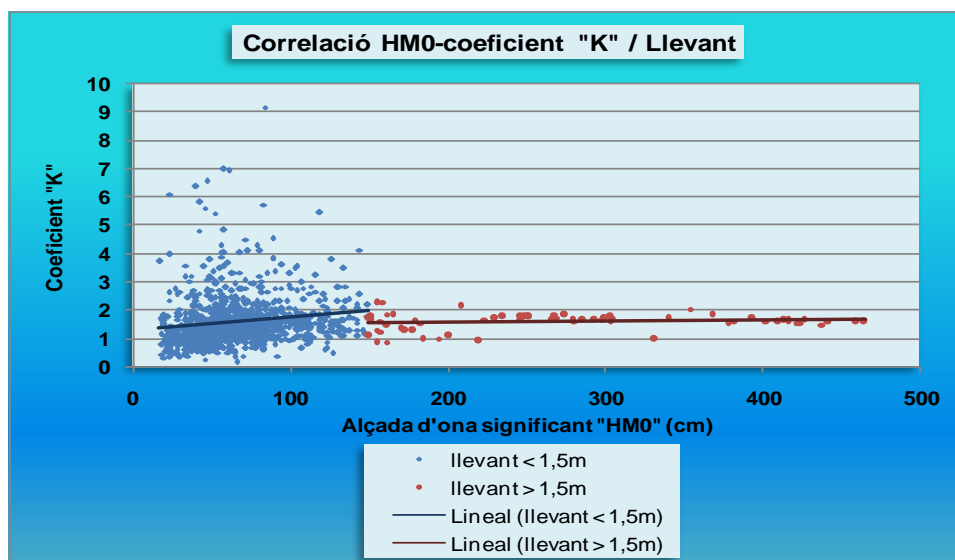


Fig. 5.28 Correlació entre H_0 i el paràmetre "K" separant en funció de H_0 (Llevant)

Equacions de les rectes:

$$y = 0,004x + 1,273 \quad (R^2 = 0,017) \quad \text{quan } HM0 < 1,5\text{m}$$
$$y = 1,515 \quad \text{quan } HM0 > 1,5\text{m}$$

Els comportaments que presenten les situacions de llevant i de brises son similars però diferent del que presenten els terrals. En aquest cas, tal i com s'observa en la figura 5.28 i les equacions adjuntes (corresponents a situacions de llevant), per alçades d'ona significant grans, el valor del paràmetre "K" és constant donant com a resultat un pendent nul de la recta per $H_s > 1,5\text{m}$. Per tant en situacions de llevant si que existeixen diferències en el comportament del paràmetre "K" en funció de l'alçada d'ona significant. Això es pot comprovar amb el fet que una funció logarítmica ajusta millor el global de les dades de llevant que una recta (veure figura A2.116 de l'annex de resultats i equacions adjuntes).

Com ja s'ha dit el comportament de les brises és semblant al dels llevants, i es pot veure en les figures A2.113 i A2.114 de l'annex de resultats i en les respectives equacions adjuntes.

6. DISCUSSIÓ DE RESULTATS I CONCLUSIONS

En aquest apartat es comenten els resultats més significatius que s'han exposat en l'apartat 5. Es relacionen les diferents afirmacions que s'han fet en cadascun dels estudis, i es comprova si són congruents entre elles i també si ho són amb els estudis que s'havien fet prèviament, i que estan exposats en l'estat de l'art. Finalment s'extreuen les conclusions principals per a cadascun dels estudis realitzats.

6.1 PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN PERÍODES DE TEMPORAL MARÍTIM

6.1.1 DISCUSSIÓ DELS ESTUDIS DE VENTS I ONATGE

El primer resultat al qual s'arriba durant el tractament previ de les dades, és que les dades de les sèries temporals estudiades no es poden utilitzar per a comprovar la validesa de la fórmula del perfil logarítmic de vents. Tal i com s'ha explicat en l'apartat de resultats, les velocitats mitjanes de vent registrades a primera línia de costa a 10m per les estacions del SMC, són molt inferiors a les registrades sobre el mar per les boies de la XIOM a 3m.

Amb els resultats obtinguts s'observa que es registra un estancament de la diferència percentual quan s'accentuen les condicions de temporal que són aquelles situacions que combinen fortes intensitats de vent (velocitats mitjanes de vent per sobre dels 7-8m/s) i grans alçades d'ona (alçades d'ona significant superiors a 1,5m). Els temporals de llevant reuneixen aquestes condicions, presenten grans alçades d'ona combinades amb vents intensos molt constants i d'una mateixa direcció; no és estrany doncs que sigui en aquests temporals quan aquest estancament de la diferència percentual sigui més marcat, amb valors compresos entre el 15 i el 80% depenent de la ubicació del parell d'estacions de mesura. Dins els mateixos temporals de llevant existeixen diferències en funció de la zona de la costa catalana on incideixen: a la meitat nord ho fan de forma molt més intensa que en la meitat sud; per tant tampoc és estrany que l'estancament de les diferències percentuals degut als fluxos intensos i constants de vent, s'observi més clarament en les parelles d'estacions de mesura de la meitat nord de la costa catalana (entre el 15 i el 30% per la parella Roses-St. Pere Pescador, i entre el 50 i el 80% per la parella Blanes-Malgrat de Mar).

En els temporals de ponent les alçades d'ona associades no són tan grans. Les alçades d'ona significant difícilment superen els 3m i les màximes els 5m, ja que la zona de *fetch* és pràcticament inexistent; i malgrat assolir majors intensitats, els vents són més irregulars que en les llevantades (tant pel que fa a la intensitat com a la direcció). És per tot això que l'esmentat estancament de la diferència percentual no s'observa en aquests casos (els valors de la diferència percentual oscil·len des de quasi el -100% fins a valors superiors al 200%). A més de permetre estudiar vent molt intens sobre terra i mar amb onatge poc desenvolupat, aquest tipus de temporals incideixen de forma similar al llarg de tota la costa catalana, per tant tampoc és estrany que en temporals de ponent no s'observin diferències significatives entre les diferents parelles d'estacions de mesura.

El fet que en l'estudi del període de calma marítima i vent intens de direcció variable la diferència percentual presenti una marcada irregularitat, amb valors que oscil·len entre el -50% i valors superiors al 200%, corrobora que l'estabilització o estancament d'aquesta diferència percentual només es produeix de forma clara quan es donen fluxos

de vent constants tant pel que fa a intensitat com a direcció, que s'acostumen a traduir també en grans alçades d'ona.

La hipòtesis de problemes en mesurar el vent amb la boia meteorològica alternativament a la cresta i el sinus de l'onada, queda descartada, ja que s'observa el mateix comportament que en temporals de ponent (diferències percentuals totalment irregulars), malgrat que a diferència del que succeeix en temporals de ponent, en aquest cas no hi ha onatge significatiu.

6.1.2 DISCUSSIÓ DE L'ESTUDI DE LES DIRECCIONS

Pel que fa a les direccions del vent registrades a primera línia de la costa per les estacions del SMC i les registrades sobre el mar per les boies de la XIOM, són molt similars. Si bé és cert que, tal i com s'ha explicat en l'apartat 5 existeix algun matís.

Aquestes direccions que ja són molt similars de per sí, s'acosten encara més fins a fer-se pràcticament coincidents en situacions de temporal, arribant en algun cas concret a una diferència màxima de només 20°. A diferència de l'estudi de vents i onatge, en aquest cas la direcció del vent no presenta diferències de comportament en funció de la naturalesa del temporal estudiat, això condueix a pensar que l'alçada d'ona no influeix en la direcció del vent mesurada ja que és aquesta la diferència bàsica entre els dos tipus de temporal, mentre que en temporals de llevant l'alçada d'ona significant pot superar els 5m, en temporals de ponent difícilment supera els 3m.

També s'ha observat que en situacions de temporal, els registres de la boia meteorològica presenten una petita desviació respecte la seva pròpia mitjana, mentre que les mesures de l'estació del SMC quasi no presenten cap oscil·lació. Aquest fet és d'esperar, cal tenir en compte que les mesures de terra es prenen amb aparells completament fixats, mentre que les mesures del mar, tot i que les boies estiguin dotades de sistemes estabilitzadors, sempre es troben en constant moviment. A més també influeix el fet que en estar mesurant més pròxima a la superfície, la boia és més sensible a possibles alteracions en la direcció dels vents produïdes per la interacció entre aquests i la superfície marina, que en períodes de temporal és quan presenta major rugositat.

En tot cas es pot considerar que la direcció del vent sobre el mar es pot aproximar per la direcció que registren les estacions del SMC a primera línia de mar sempre i quan es donin intensitats de vent elevades, i independentment de si es dona o no temporal marítim i de la seva naturalesa.

6.1.3 CONCLUSIONS

Les principals conclusions que s'extreuen d'aquest primer estudi, i que donen resposta al primer objectiu plantejat en l'apartat 3, són:

- El vent que es dona sobre el mar en zones pròximes a la costa, és sempre superior al vent que es dona simultàniament sobre terra a primera línia de la costa, malgrat que el primer estigui mesurat a 10m d'alçada i el segon a 3.
- Les diferències percentuals entre els vents que es donen sobre el mar i els que es donen sobre terra tendeixen a estancar-se entre el 15 i el 80%, en temporals de llevant molt marcats, especialment a la meitat nord de la costa catalana, on aquests incideixen més intensament.

- En temporals de ponent no s'observen tendències clarament definides en el comportament de les diferències percentuals entre els vents que es donen sobre el mar i els que es donen sobre terra. Tampoc s'observen diferències de comportament en funció de la zona de la costa catalana.
- Les direccions del vent registrades sobre terra són molt similars a les direccions registrades sobre el mar, en tot tipus de temporals, i en totes les ubicacions de la costa catalana. En situacions de temporal intens aquestes es fan pràcticament coincidents, amb diferències que poden arribar com a màxim als 20°.
- És important realitzar mesures de les intensitats de vent sobre el mar mitjançant boies meteorològiques. Com s'ha vist, en la majoria de situacions estudiades (totes exceptuant les llevantades) els registres que es donen sobre el mar són molt diferents dels que es donen sobre terra, i a més presenten una gran irregularitat que els fa molt difícils de predir.
- La hipòtesis de problemes de les boies en mesurar el vent de forma alternativa en el sinus i la cresta de l'onada queda descartada. Les boies mesuren bé el vent ja que en temporals de llevant, es pot comprovar que les baixes diferències percentuals (degudes al fet que el flux de vents presenta una intensitat molt constant) es mantenen, tot i augmentar l'alçada d'ona.

6.2 ESTUDI PROBABILÍSTIC

6.2.1 DISCUSSIÓ

El resultat més interessant que s'ha obtingut en l'estudi probabilístic és el fet que per a temporals de llevant, i especialment pels parells d'estacions de mesura de la meitat nord de la costa catalana, les funcions densitat de probabilitat de Gumbel ajustades s'adapten especialment bé a la forma dels histogrames de freqüències. En aquests casos també s'observava una desviació típica menor que per a la resta d'estacions de mesura i tipus de temporal, és a dir que les dades es troben més concentrades al voltant de la mitjana. Aquesta afirmació és coherent amb la que s'ha fet en el primer estudi segons la qual, la diferència percentual presentava una marcada estabilització en temporals de llevant, i molt especialment per a les parelles d'estacions de mesura de la meitat nord de la costa catalana.

L'afirmació que l'estabilització de les diferències percentuals és més marcada en temporals de llevant, també es veu recolzada pel fet que en determinar els ajustos globals de llevant i ponent, la desviació típica és menor per a temporals de llevant (42,802% en temporals de llevant contra 52,463% en temporals de ponent).

Malgrat aquestes similituds, pot semblar que en cap cas els estudis probabilístics presenten una dispersió de les dades equivalent irregularitats que presentaven les diferències percentuals en el primer estudi, una contradicció si es té en compte que ambdós estudis estan realitzats amb les mateixes dades de base. Cal tenir en compte però, que en aquest segon estudi s'ha fet un filtratge on i s'han eliminat les dades que presentaven alçades d'ona inferiors al metre i mig. Per tant, aquestes dades, que presenten alçades d'ona menors i que corresponen a les fases d'aminorament del

temporal en les que també decau la velocitat del vent, són les que introdueixen gran part de les irregularitats de la diferència percentual observades en el primer estudi.

6.2.2 CONCLUSIONS

Les principals conclusions que s'extreuen de l'estudi probabilístic, i que donen resposta al segon objectiu plantejat en l'apartat 3, són:

- Per a temporals de llevant, i per zones de la meitat nord de la costa catalana, és possible obtenir una funció densitat de probabilitat de màxims de Gumbel que s'ajusti a la forma de l'histograma de freqüències corresponent, i que determini la probabilitat que els vents registrats sobre el mar a 3m d'alçada superin en un determinat percentatge els vents registrats sobre terra a primera línia de la costa a 10m d'alçada, donada una situació de temporal. Per la parella d'estacions de mesura de Blanes-Malgrat de Mar s'obté una moda de 61,91% i una desviació del 18,63%, i per la parella Roses-St. Pere Pescador la moda i desviació valen 35,58% i 37,30% respectivament (cal recordar que en tractar-se d'un percentatge la variable independent no té unitats).
- Per temporals de ponent, no és possible obtenir una funció densitat de probabilitat de màxims de Gumbel que s'ajusti a la forma de l'histograma de freqüències corresponent, i que determini la probabilitat que els vents registrats sobre el mar a 3m d'alçada superin en un determinat percentatge els vents registrats sobre terra a primera línia de la costa a 10m d'alçada, donada una situació de temporal. En l'ajust global de temporals de ponent s'obté una moda del 45,27% i una desviació del 52,46%. Com s'ha explicat en el corresponent apartat de resultats (apartat 5.2), la funció densitat de Gumbel ajustada, a més de no adaptar-se bé a la forma de l'histograma, ha estat obtinguda amb una base de dades molt petita (ja que en temporals de ponent hi ha molt poques dades amb $H_s > 1,5\text{m}$). Això significa que a la funció ajustada li manca fiabilitat, per aquesta raó que no es considera vàlida.

6.3 PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN SÈRIES LLARGUES DE TEMPS

6.3.1 DISCUSSIÓ

Com s'explica en l'apartat 4.3.3, a més de determinar els patrons generals de comportament del vent en sèries llargues de temps, l'altre objectiu és recopilar, ordenar, i tractar les dades necessàries per a la realització de l'últim estudi (descriu en l'apartat 4.3.4).

A més de verificar el compliment de les principals característiques del clima meteorològic i marítim típics de la costa catalana, en aquest apartat s'observen també dos aspectes importants.

El primer, és el fet que tant les velocitats mitjanes com les ràfegues màximes mesurades sobre el mar per les boies de la XIOM són superiors a les registrades per les estacions

del SMC a primera línia de la costa. Aquest fet que ara es constata per a tot tipus de situacions, ja s'havia detectat en el primer estudi per a situacions de temporal.

El segon aspecte important és el fet que la diferència mitjana entre ràfegues màximes és inferior a la diferència mitjana entre velocitats mitjanes (10,15% en les primeres per 52,75% en les segones). Això posa de manifest que en general el vent és més ratxejat sobre terra, i més constant sobre el mar.

6.3.2 CONCLUSIONS

Les principals conclusions que s'extreuen del tercer estudi, i que donen resposta al tercer objectiu plantejat en l'apartat 3, són:

- Els vents registrats sobre el mar en zones pròximes a la costa són superiors als vents registrats sobre terra a primera línia de la costa, en tot tipus de situacions meteorològiques i marítimes, malgrat que els primers estiguin registrats a 3m d'alçada i els segons a 10.
- Els valors de ràfegues màximes mesurades sobre terra i sobre el mar, són més pròxims que els valors de velocitats mitjanes. Les velocitats mitjanes mesurades sobre el mar són un 52,75% superiors a les de terra, mentre que les ràfegues màximes només ho són en un 10,15%, fet que significa que els vents són més ratxejats sobre terra i més constants sobre el mar.

6.4 DETERMINACIÓ D'UNA FÓRMULA EMPÍRICA QUE PERMETI ESTIMAR EL VENT SOBRE EL MAR

6.4.1 DISCUSSIÓ

Com s'ha explicat en l'apartat 5 no és possible determinar una fórmula que permeti estimar el valor del paràmetre "K" en funció de l'alçada d'ona significant, independentment de la direcció del vent. Aquest és el resultat més important que s'extreu d'aquest últim estudi. Cal recordar que prèviament s'ha definit el paràmetre "K" com el quocient entre la velocitat mitjana registrada per la boia meteorològica a 3m, i la velocitat mitjana registrada per les estacions meteorològiques terrestres a 10m.

Malgrat això, el matís que es fa en l'apartat 5 té lectures molt interessants, i reforça algunes de les afirmacions que ja s'havien anat fent en estudis anteriors i que s'exposen a continuació.

En l'apartat de resultats s'observa una tendència a l'estabilització del paràmetre "K" quan l'alçada d'ona supera el metre i mig per a situacions de llevant i brises (veure figures A2.113 i A2.115), és a dir, quan el vent prové del mar. Com es pot veure es tracta d'una afirmació en la mateixa línia que la que s'ha anat fent en apartats anteriors, segons la qual les diferències percentuals entre intensitats de vent s'estanquen en situacions marcades de temporal, i aquestes últimes es donen quan els vents provenen del mar. A més els valors al voltant dels quals s'estabilitzen les rectes de l'últim apartat, 1,515 i 1,718 per a llevants i brises respectivament, correspondrien a diferències percentuals del 51,5% i 71,8%, que pertanyen al rang de valors (del 50%-80%) al

voltant dels quals s'havia dit que s'estancaven les diferències percentuals del parell d'estacions Blanes-Malgrat de Mar en els resultats de l'estudi 1.

Pel que fa als terrals, es pot observar que el comportament del paràmetre "K" no presenta variacions en funció de l'alçada d'ona significant. Les situacions de terral no presenten alçades d'ona tant altes com els de llevant ja que pràcticament no hi ha *fetch*. D'aquesta manera es reforça la idea que l'alçada d'ona no influeix en el comportament de les intensitats de vent. L'afirmació anterior es pot comprovar amb el fet que l'estancament de les diferències percentuals entre els vents mesurats per les estacions del SMC i els mesurats per les boies de la XIOM, no es produeix tot i haver-hi grans alçades d'ona significant.

6.4.2 CONCLUSIONS

Les principals conclusions que s'extreuen de l'últim estudi, i que donen resposta l'últim objectiu plantejat en l'apartat 3, són:

- No és possible determinar una funció que estimi el valor del paràmetre "K" (relació entre el vent mesurat a terra i sobre el mar) en funció només de l'alçada d'ona significant.
- Quan el vent prové del mar i l'alçada d'ona significant és gran (superior a 1,5m) els valors del paràmetre "K" tendeixen a estabilitzar-se entre 1,5 i 1,8.
- Quan el vent prové de terra no s'observa una dependència clara del comportament del paràmetre "K" respecte l'alçada d'ona significant.

6.5 CONCLUSIONS GENERALS

Tal i com es reflecteix en tots i cadascun dels estudis d'aquesta tesina, la conclusió principal a la qual s'arriba és que el vent que es dona sobre el mar en zones pròximes a la costa, és sempre superior al vent que es dona simultàniament sobre terra a primera línia de mar. Malgrat que el primer estigui mesurat a 10m d'alçada i el segon a 3.

En la major part de les situacions estudiades (calma total, calma marítima combinada amb vents intensos, i temporals de ponent), els vents mesurats sobre terra i sobre el mar són molt irregulars, essent impossible establir cap tipus de relació entre ells. Però en temporals de llevant, i de forma molt especial a les estacions situades a la meitat nord de la costa catalana (on aquests incideixen més directament), s'observa que les intensitats de vent presenten irregularitats molt menors. Les intensitats de vent mesurades sobre el mar són entre un 15 i un 80% superiors a les intensitats mesurades sobre terra.

El comportament especial dels temporals de llevant que s'acaba de descriure, i que es reflecteix en els diferents estudis d'aquesta tesina, és degut a la seva pròpia naturalesa, ja que es tracta de situacions amb vents intensos, persistents, i amb direcció i intensitat molt constants.

El fet que les boies reflecteixin fidelment les característiques dels vents durant temporals de llevant, juntament amb la no apreciació de diferències en el comportament de les intensitats de vent de la resta de situacions, condueixen a l'altra conclusió important d'aquesta tesina: l'afirmació que l'onatge no influeix ni distorsiona les

mesures de vent realitzades per les boies. Descartant així la hipòtesi d'un possible efecte ombra de les onades sobre les mesures de vent realitzades per les boies durant episodis de temporal marítim.

7. BIBLIOGRAFIA

7.1 BIBLIOGRAFIA

- **Bolaños Sánchez, R., 2004:** *Tormentas de oleaje en el Mediterráneo. Física y predicción*. Tesis doctoral. Director: Sánchez-Arcilla Conejo, A.
- **Dainault, N., Camblan, M., Thepaut, J.N. i Champagne-Philippe, M., 1988:** *Comparison of sea surface wind measurements obtained from buoy, aircraft and onshore masts during the toscanet campaign*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. Vol. 5, pp. 385-404.
- **Gilhousen, D.B., 1987:** *A field evaluation moored buoy winds*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 4, 94-104.
- **Hsu, S.A., Meindl, E.A. i Gilhousen, D.B., 1994:** *Determining the Power-Law Wind-Profile Exponent under Near-Neutral Stability Conditions at Sea*. Coastal Studies Institute, Louisiana State University.
- **Martín León, F., 2010:** *El concepto de ciclogénesis explosiva o “bomba meteorológica”*. RAM^{3º ETAPA}.
- **Martínez de Ozés, FX. 2006:** *Meteorología aplicada a la navegación*. Edicions UPC.
- **Math, L., Vickers, D., Drenan, W.M., Graber, H.C. i Crawford, T.L., 2005:** *Displacement measurement errors from moving platforms*. J. Atmos. Oceanic Technol., 22, 860–868.
- **Panofsky, H.A. i Dutton, J.A., 1984:** *Atmospheric Turbulence* Willey. 397 pp.
- **Stull, R.B., 1988:** *An introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers.
- **Taylor, P.K., Kent, E.C., Yelland, M.J. i Moat, B.I., 1999:** *The accuracy of marine surface winds from ships and buoys*. Papers from WMO Workshop on Advances in Marine Climatology - CLIMAR99, Vancouver, Canada, WMO, 59–68.
- **Taylor, P.K., Dunlap, E., Dobson, F.W., Anderson, R.J. i Swail, V.R., 2001:** *On the accuracy of wind and wave measurements from buoys*. Collaboration Panel, 15pp.

7.2 RECURSOS WEB

- www.bodyboard.com. Consultada el 15/01/2011
- www.calonge-meteoweb.com. Consultada el 02/02/2011
- www.cnciutadella.com. Consultada el 15/01/2011
- www.elperiodico.com. Consultada el 23/01/2011
- www.icc.cat. Primera consulta 28/04/2010
- www.lavanguardia.com. Consultada el 23/01/2011
- www.meteo.cat. Consultada el 28/04/2010
- www.tiemposevero.es. Consultada el 23/01/2011
- www.wetterzentrale.de. Primera consulta el 15/11/2010
- www.xiom.cat. Primera consulta el 28/04/2010

Annex 1

Metodologia de càlcul

ÍNDIX

1. FUNCIONS DE MÀXIMS DE GUMBEL	3
2. MITJANES VECTORIALS	5

1. FUNCIONS DE MÀXIMS DE GUMBEL

En aquest apartat s'inclou l'explicació general de les funcions de màxims de Gumbel, les seves principals aplicacions, quins són els principals paràmetres que la descriuen i quin significat tenen. Per contextualitzar aquest tipus de funcions en la tesina, cal recordar que en l'apartat 5.3.2, on s'explica detalladament l'estudi probabilístic fet en la tesina. És allà on apareixen les funcions de Gumbel, per aquesta raó s'ha cregut oportú incloure una explicació sobre la naturalesa d'aquestes funcions en el cos dels annexos.

En teoria de probabilitat i estadística la distribució de Gumbel (anomenada així en honor a *Emil Julius Gumbel*) és utilitzada per modelar la distribució del màxim (o el mínim), raó per la qual s'utilitza per al càlcul de valors extrems. Aquest tipus de funcions són molt utilitzades per predir inundacions, terratrèmols o qualsevol tipus de desastre natural.

Tot seguit s'exposen unes gràfiques on poden veure les formes que prenen les funcions de densitat i distribució de Gumbel, i se'n mostren també les equacions matemàtiques.

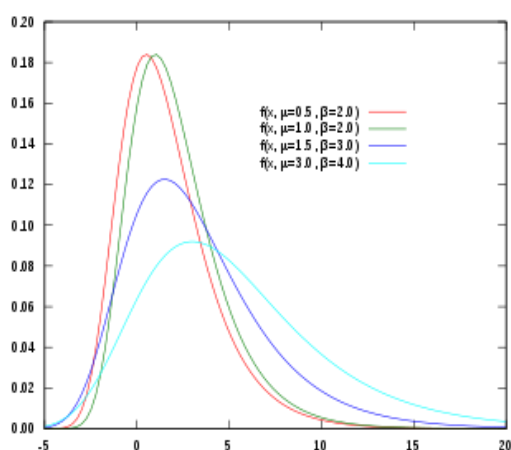


Fig. 10.1 Funció de densitat de Gumbel
 Font: Easy Fit 5.5

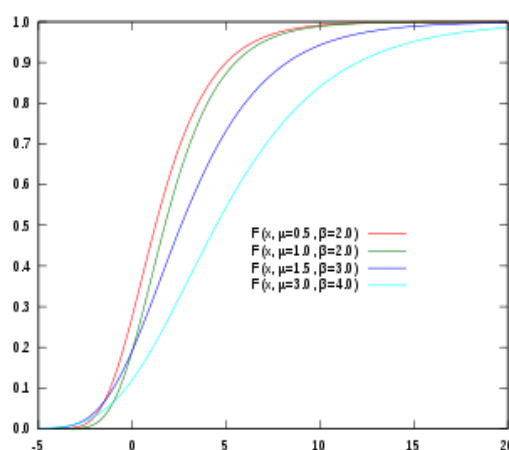


Fig. 10.2 Funció de distribució de Gumbel
 Font: Easy Fit 5.5

Les funcions densitat de probabilitat i distribució de probabilitat de Gumbel prenen les següents formes:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) \quad () \text{ Funció densitat de probabilitat de Gumbel}$$

$$F(x) = \exp(-\exp(-z)) \quad () \text{ Funció distribució de probabilitat de Gumbel}$$

$$\text{Mitjana} \rightarrow \mu + \beta\gamma$$

$$\text{Moda} \rightarrow \mu$$

$$\text{on } z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \sigma = \frac{\beta\pi}{\sqrt{6}} \quad \text{i} \quad \gamma = 0,57721556649 \quad (\text{constant d'Euler-Mascheroni})$$

2. MITJANES VECTORIALS

El segon apartat de l'annex de càlcul recull una breu explicació de què són les mitjanes vectorials, quina importància tenen i com es calculen.

Quan és necessari fer la mitjana d'una sèrie de valors d'una variable concreta, cal parar molta atenció a la naturalesa d'aquesta variable. Cal diferenciar entre variables escalars i variables vectorials.

- Variables escalars: són aquelles que queden definides per un valor numèric. En aquesta tesina les diferents intensitats de vent, i les alçades d'ona són variables escalars.
- Variables vectorials: són aquelles que per quedar completament definides, requereixen un valor numèric (mòdul), una direcció i un sentit. Es representen mitjançant vectors. En aquesta tesina les direccions són variables vectorials.

Per fer mitjanes de variables escalars cal fer una mitjana aritmètica normal. Per fer mitjanes de variables vectorials cal calcular les mitjanes vectorials. Tot seguit s'explica com s'ha realitzat el càlcul de la mitjana vectorial de les direccions.

- a) Suposem que es disposa de n direccions $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$. Considerem que aquests vectors tenen mòdul 1 (ja que les intensitats del vent s'estudien a part).
- b) Per a cadascuna de les direccions es calcula el cosinus i el sinus (components horitzontal i vertical respectivament).

$$\alpha_i \rightarrow \vec{v}_i = (\cos \alpha_i, \sin \alpha_i)$$

- c) Es fa la suma dels vectors expressats en components obtinguts en el punt anterior, de tal manera que el vector resultant obtingut és:

$$\vec{v}_{suma} = \left(\sum_i \cos \alpha_i, \sum_i \sin \alpha_i \right)$$

- d) Finalment tenint en compte el quadrant al qual pertany el vector suma, calculem la direcció mitjana fent l'arctangent.

$$\alpha_{suma} = \arctg \left(\frac{\sum_i \cos \alpha_i}{\sum_i \sin \alpha_i} \right)$$

El fet de calcular la mitjana tal i com s'acaba d'explicar és extremadament important. Suposem que hem de fer la mitjana de dues dades: 315° i 45° . És intuïtiu i correcte pensar que la mitjana d'aquests dos vectors és un altre vector que apunta cap a 0° , cap al nord. Però si féssim aquesta mitjana amb una mitja aritmètica normal, la mitjana seria 180° , és a dir un vector que apunta cap al sud, aquest seria un resultat erroni.

Annex 2

Resultats

ÍNDEx

1. PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN PERÍODES DE TEMPORAL	3
1.1 Estudis de vents i onatge	4
1.2 Estudi de les direccions	25
2. ESTUDI PROBABILÍSTIC	47
3. PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN SÈRIES LLARGUES DE TEMPS.....	53
4. DETERMINACIÓ D'UNA FÓRMULA EMPÍRICA QUE PERMETI ESTIMAR ELS VENTS SOBRE EL MAR	79

1. PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN PERÍODES DE TEMPORAL

1.1 ESTUDIS DE VENT I ONATGE

- Episodi del 26/12/2008 al 29/12/2008 (temporal de llevant)

Roses-St. Pere Pescador

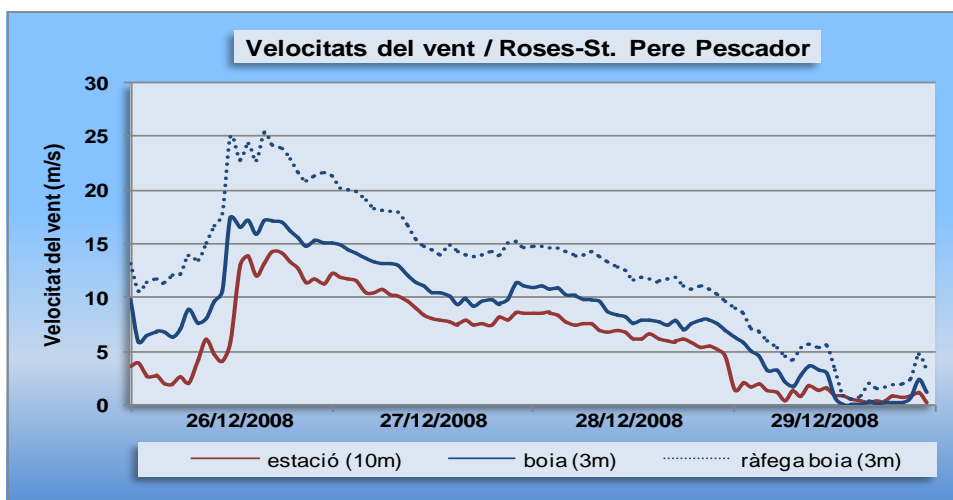


Fig. A2.1 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Roses-St. Pere Pescador).

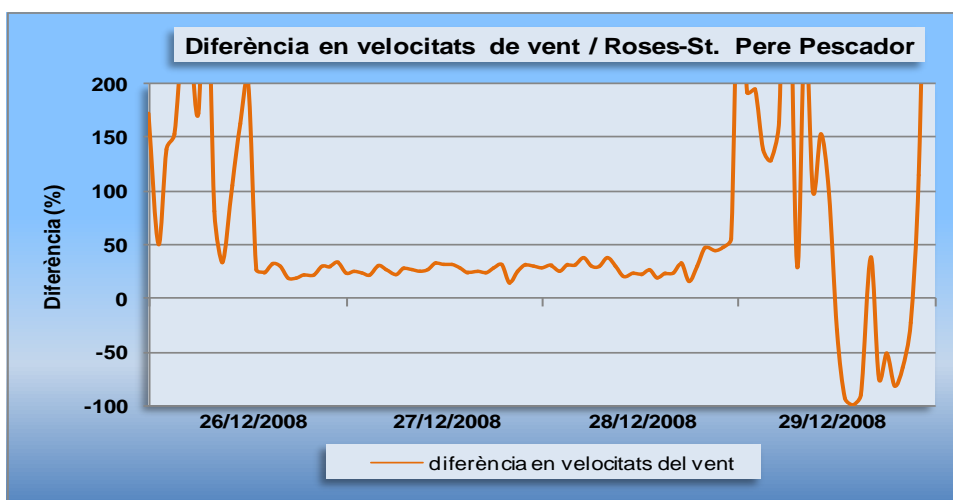


Fig. A2.2 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Roses-St. Pere Pescador)

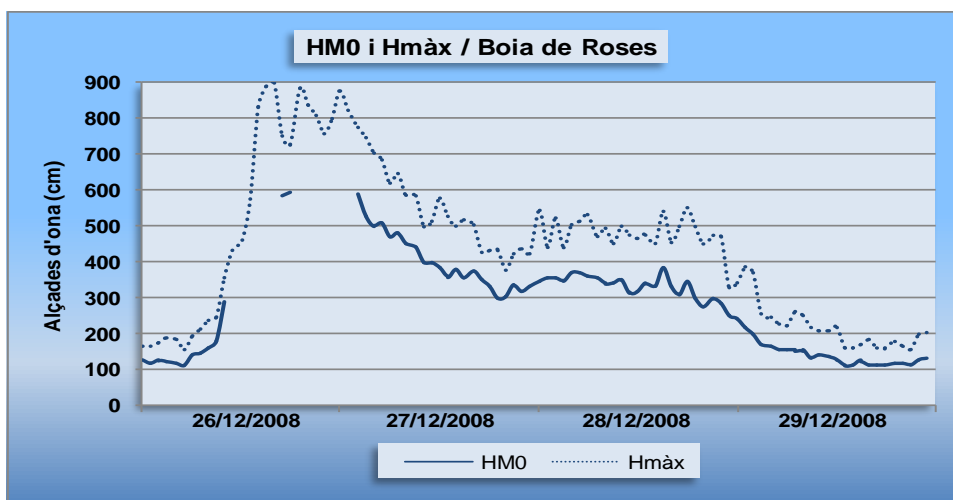


Fig. A2.3 Gràfica d'alçades d'ona (Roses-St. Pere Pescador)

Blanes-Malgrat de mar

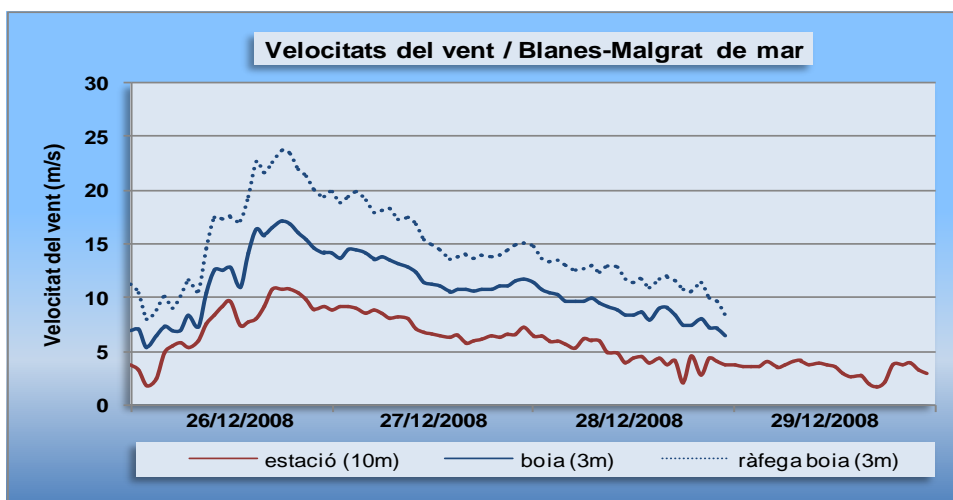


Fig. A2.4 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Blanes-Malgrat de mar)

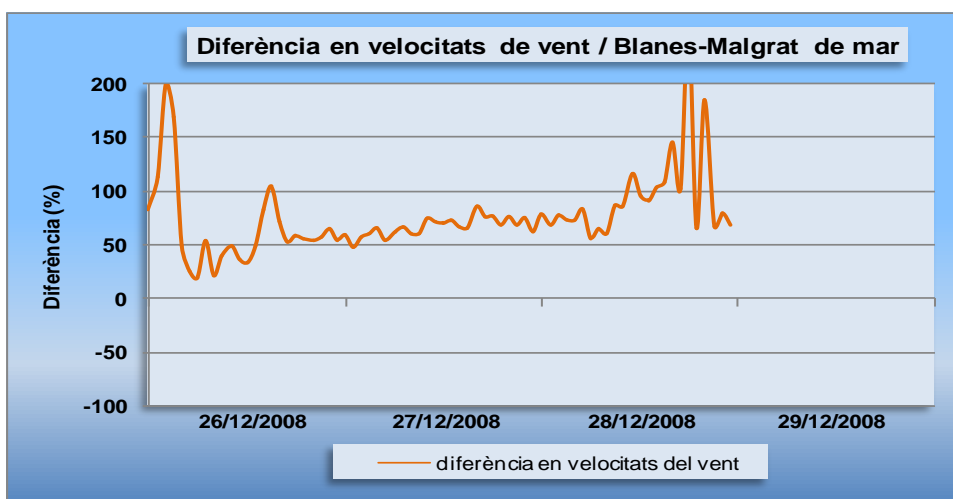


Fig. A2.5 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Blanes-Malgrat de mar)

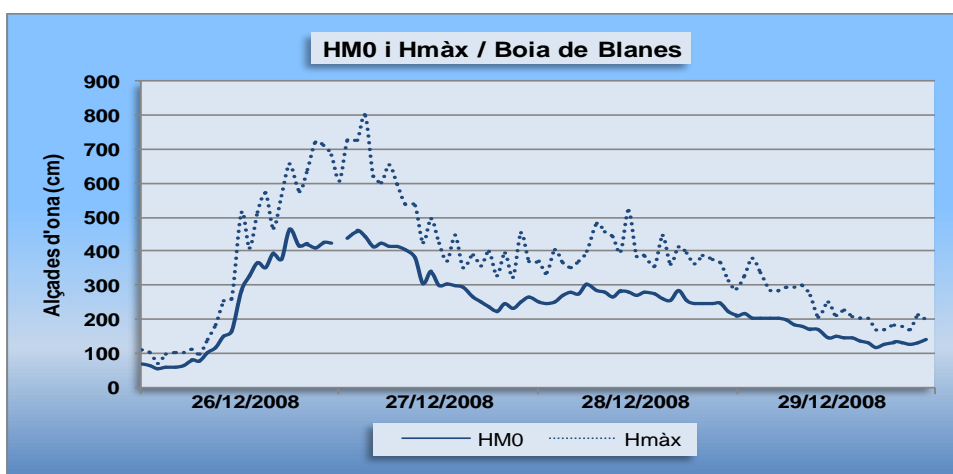


Fig. A2.6 Gràfica d'alçades d'ona (Blanes-Malgrat de Mar)

Llobregat-Port de Barcelona

No es disposa de les dades del Port de Barcelona.

Tortosa-Illa de buda

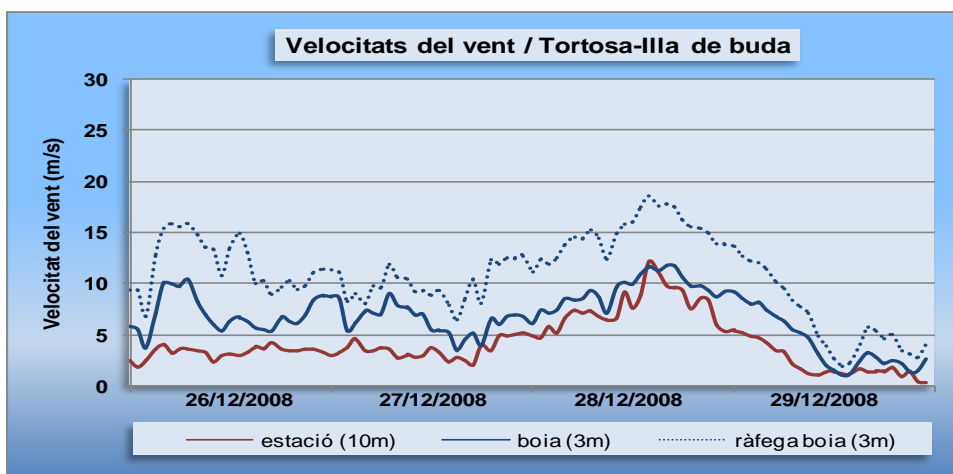


Fig. A2.7 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Tortosa-Illa de buda)

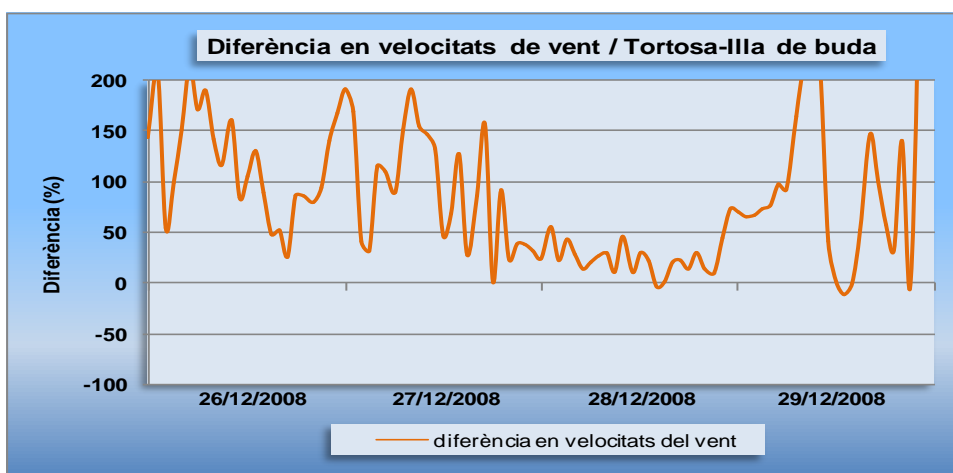


Fig. A2.8 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Tortosa-Illa de buda)

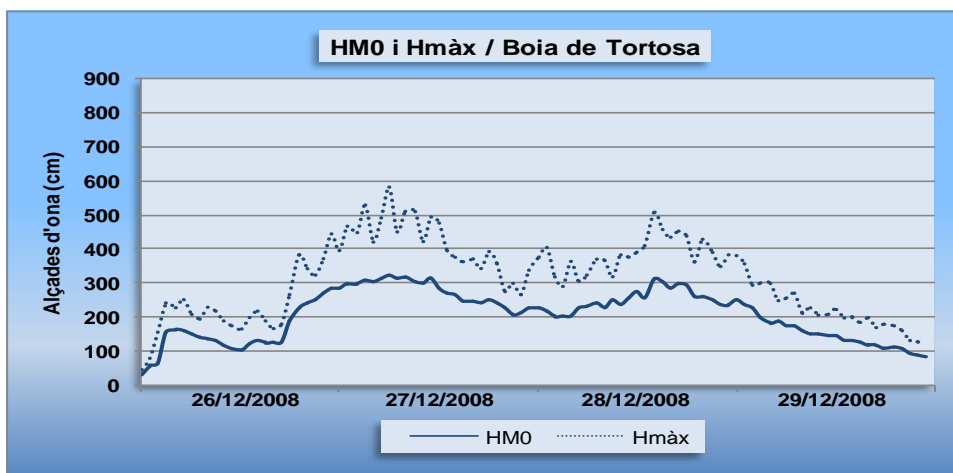


Fig. A2.9 Gràfica d'alçades d'ona (Tortosa-Illa de buda)

- Episodi del 20/10/2009 al 23/10/2009 (temporal de llevant)

Roses-St. Pere Pescador

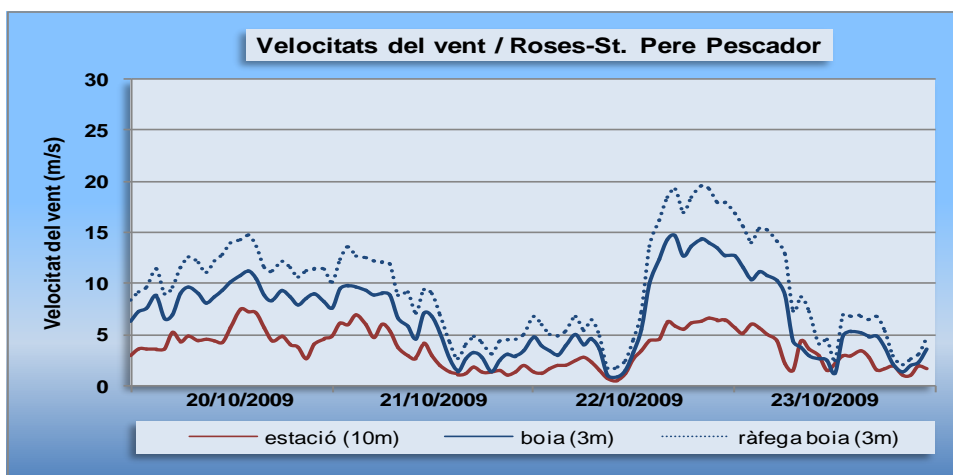


Fig. A2.10 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Roses-St. Pere Pescador)

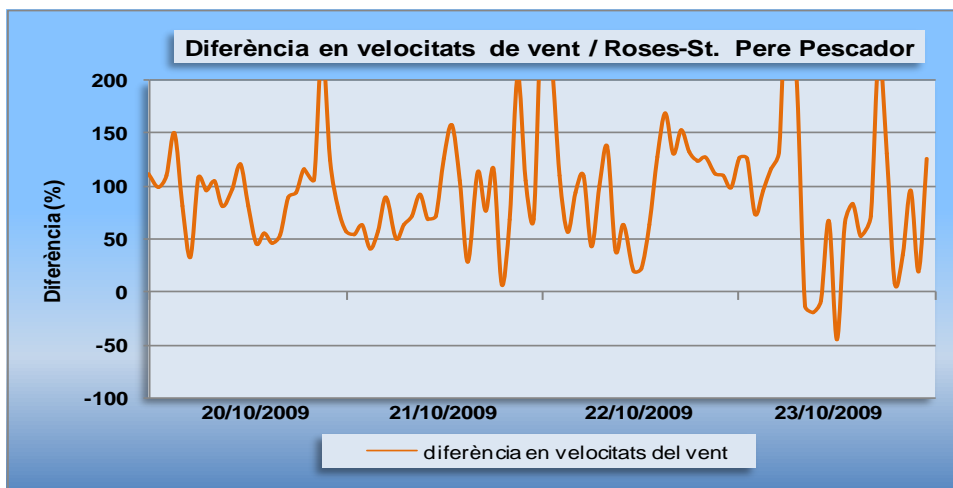


Fig. A2.11 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Roses-St. Pere Pescador)

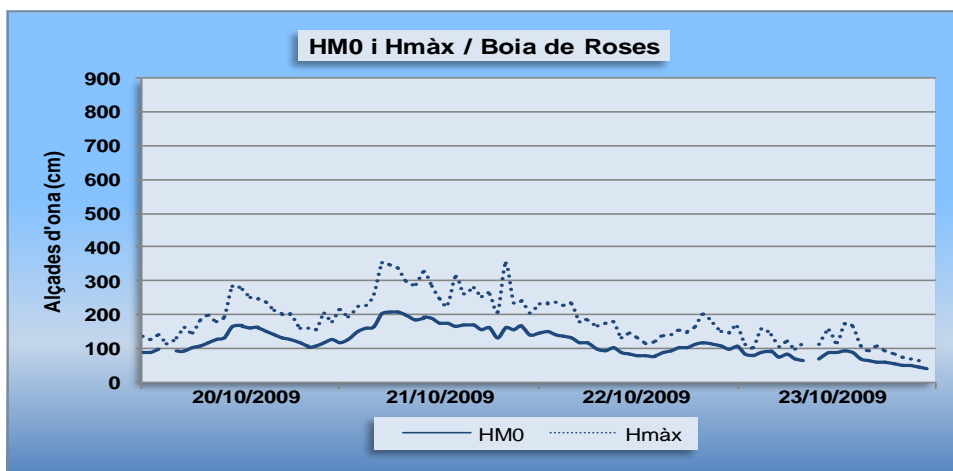


Fig. A2.12 Gràfica d'alçades d'ona (Roses-St. Pere Pescador)

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

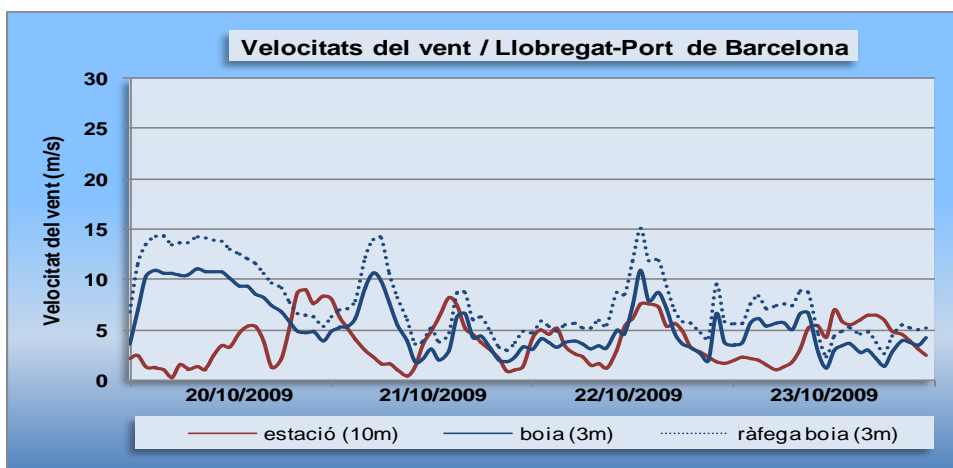


Fig. A2.13 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

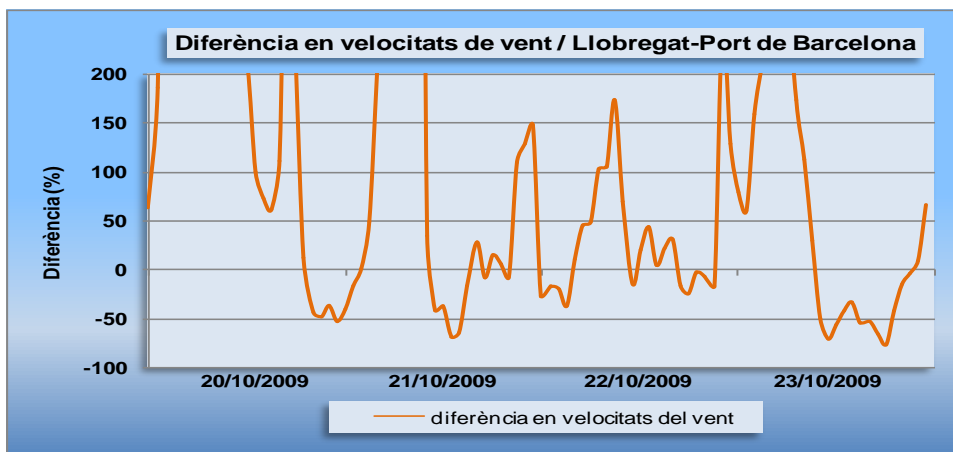


Fig. A2.14 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Llobregat-Port de Barcelona)

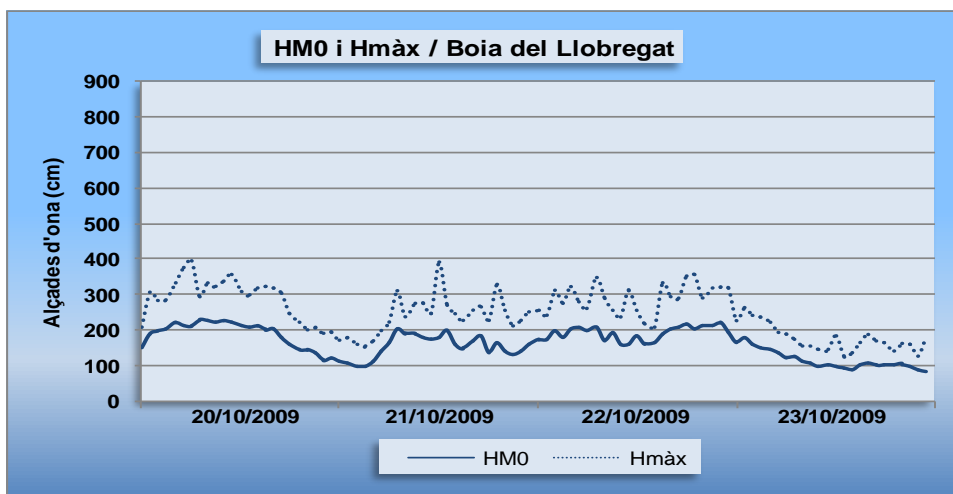


Fig. A2.15 Gràfica d'alçades d'ona (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Cap Tortosa.

- Episodi del 23/01/2009 al 26/01/2009 (temporal de ponent)

Roses-St. Pere Pescador

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Roses.

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

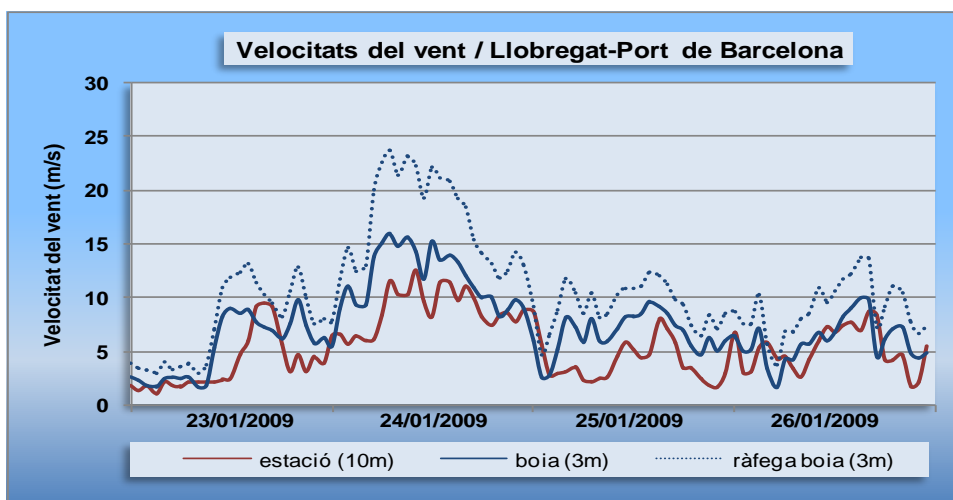


Fig. A2.16 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

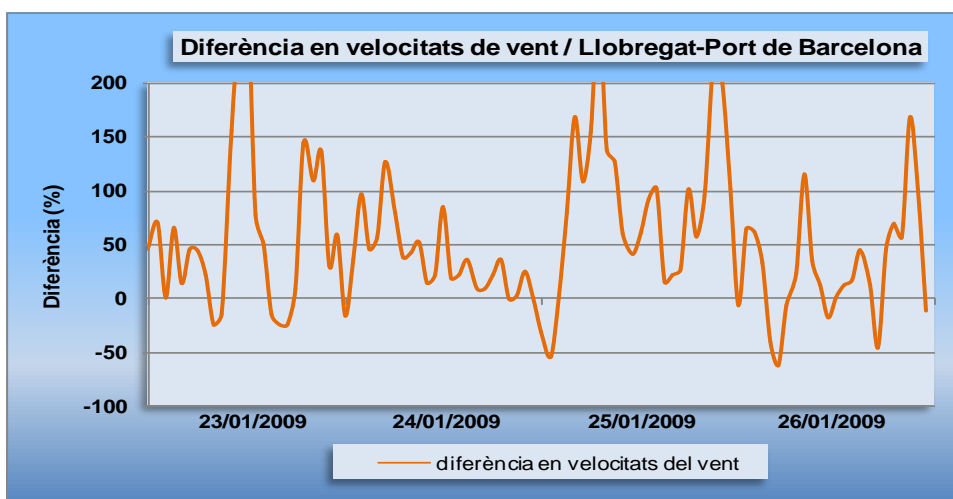


Fig. A2.17 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Llobregat-Port de Barcelona)

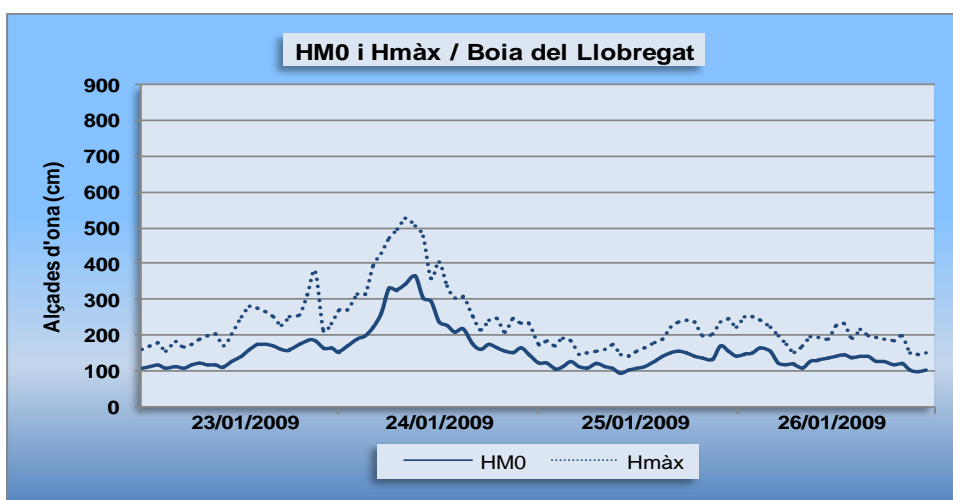


Fig. A2.18 Gràfica d'alçades d'ona (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

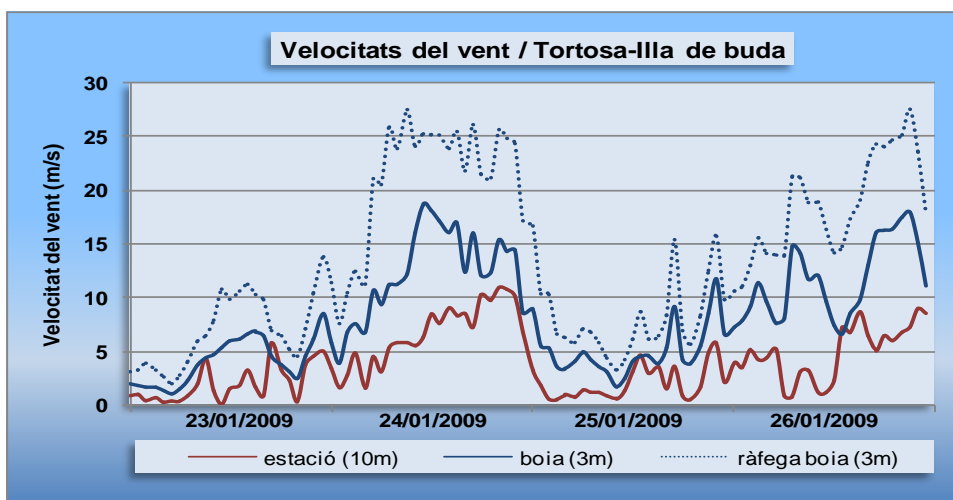


Fig. A2.19 Gràfica velocitats mitjanes del vent (Tortosa-Illa de buda)

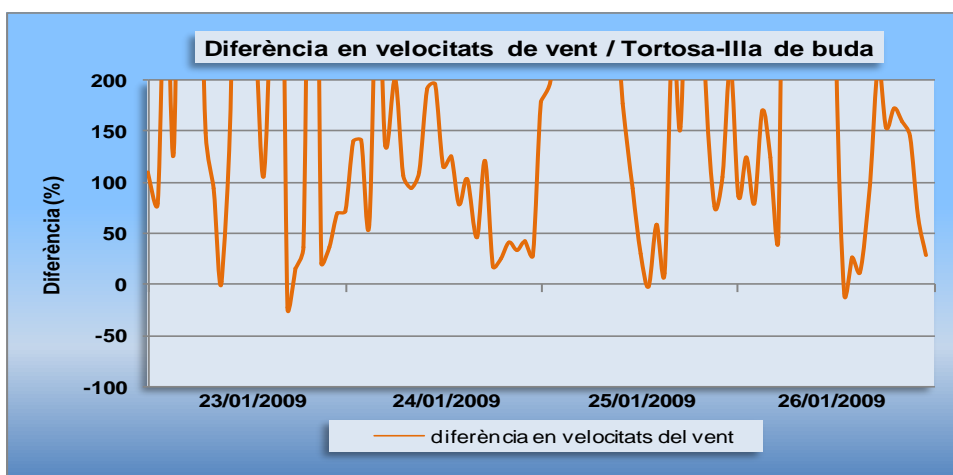


Fig. A2.20 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Tortosa-Illa de buda)

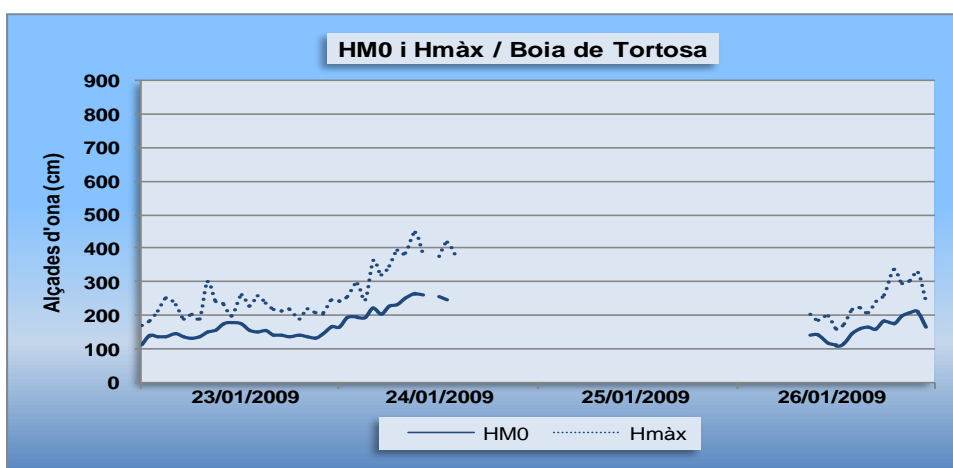


Fig. A2.21 Gràfica d'alçades d'ona (Tortosa-Illa de buda)

- Episodi del 02/11/2009 al 06/11/2009 (temporal de ponent)

Roses-St. Pere Pescador

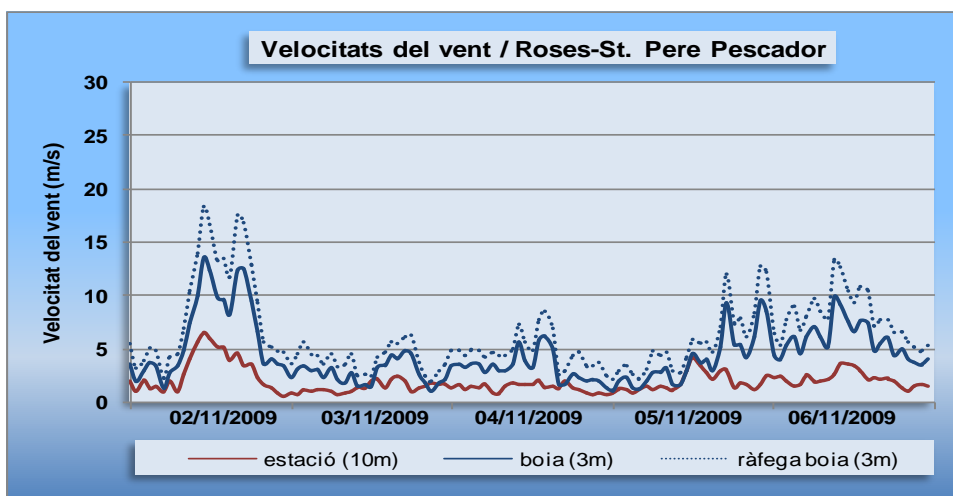


Fig. A2.22 Gràfica de velocitats mitjanes del vent (Roses-St. Pere Pescador)

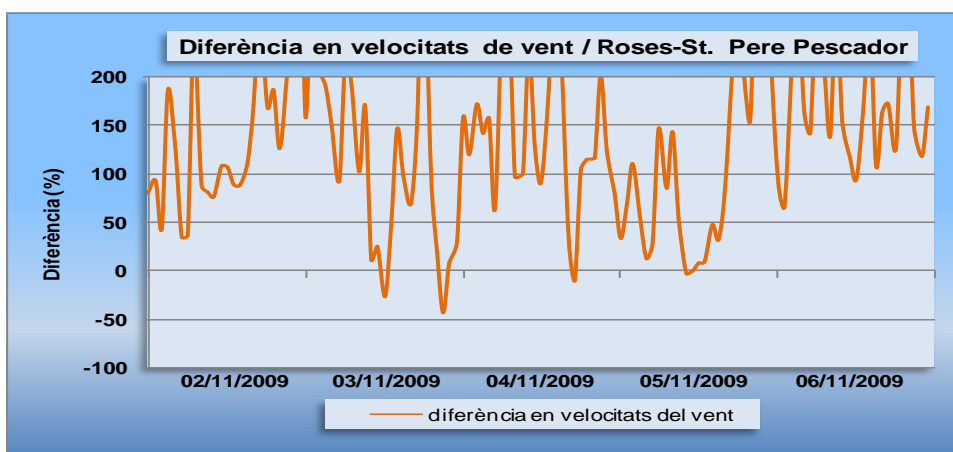


Fig. A2.23 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Roses-St. Pere Pescador)

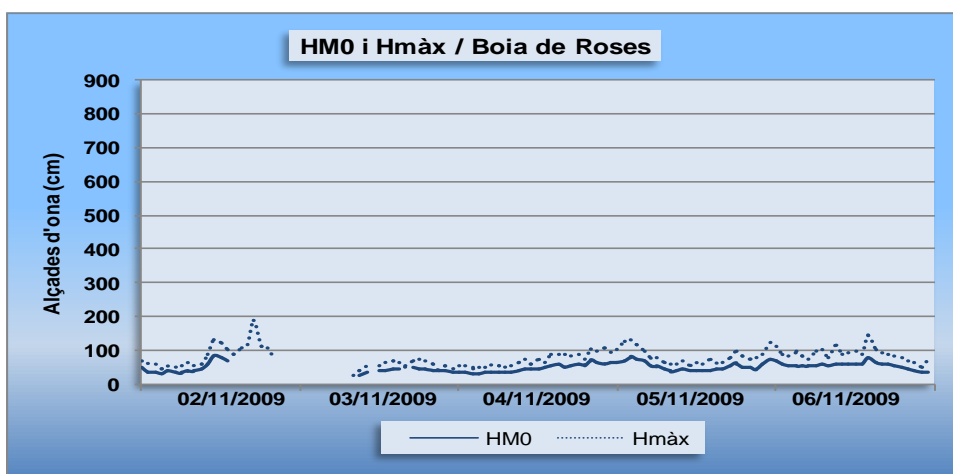


Fig. A2.24 Gràfica d'alçades d'ona (Roses-St. Pere Pescador)

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

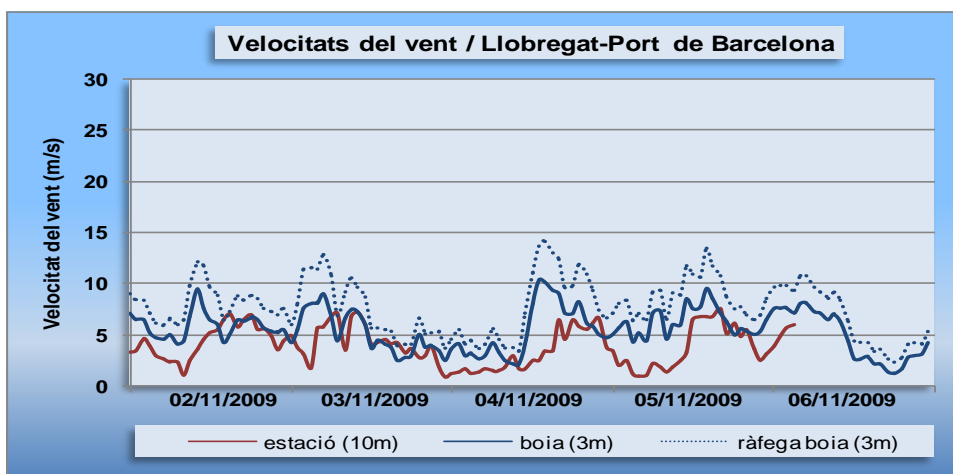


Fig. A2.25 Gràfica de velocitats mitjanes del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

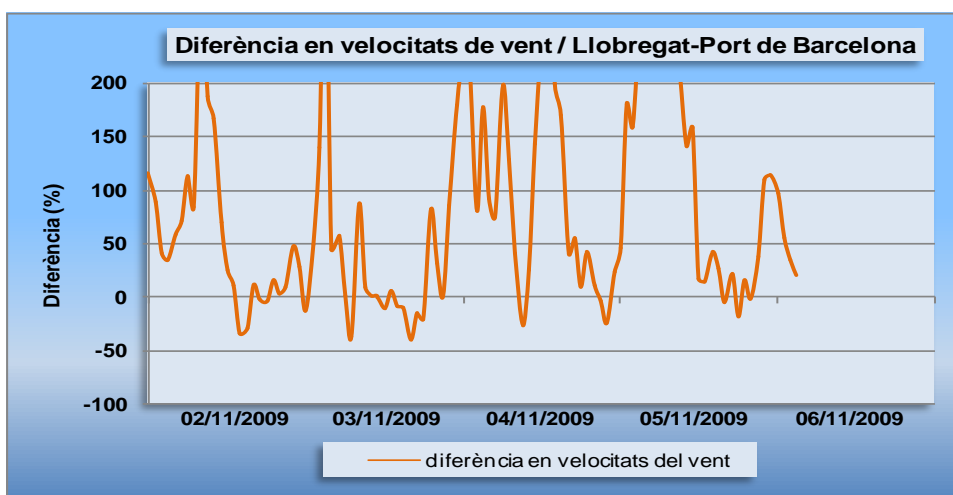


Fig. A2.26 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Llobregat-Port de Barcelona)

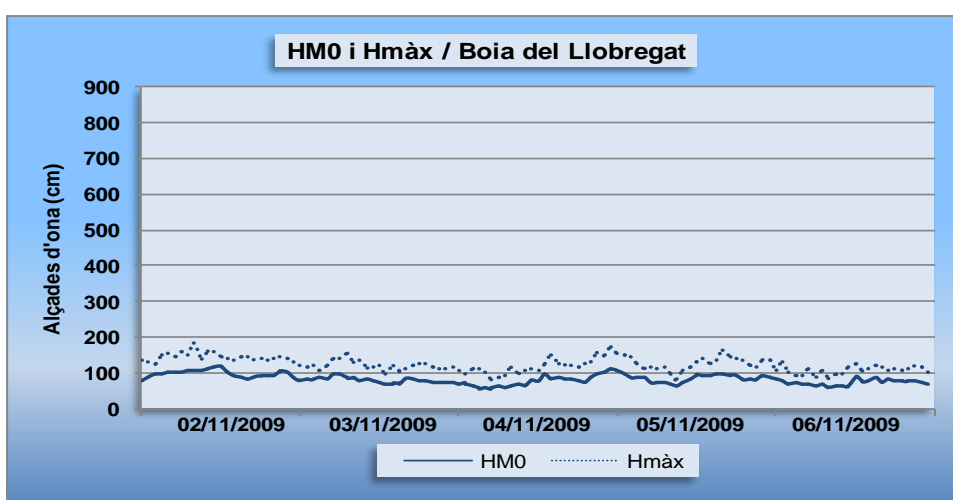


Fig. A2.27 Gràfica d'alçades d'ona (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Cap Tortosa.

- Estudi del 16/02/2009 al 18/02/2009 (calma marítima)

Roses-St. Pere Pescador

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Roses.

No es disposa de les dades de la boia escalar de Roses.

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

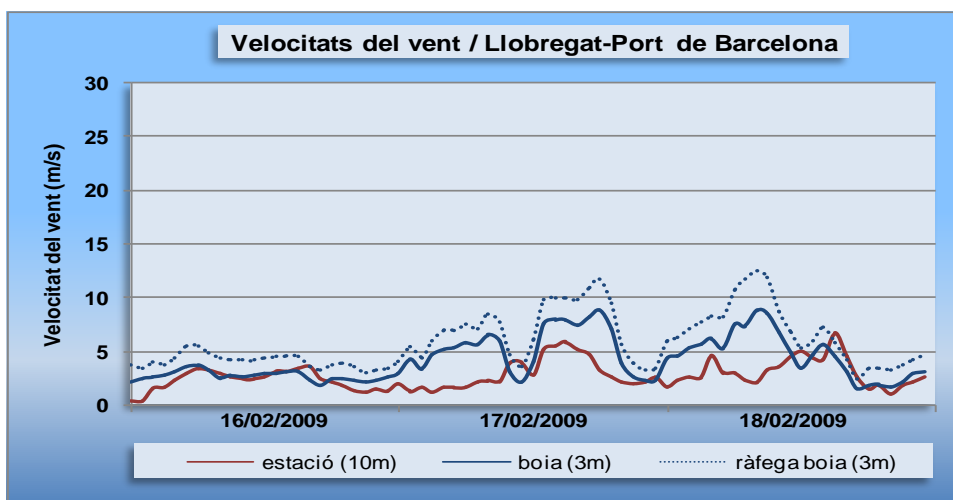


Fig. A2.28 Gràfica de velocitats mitjanes del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

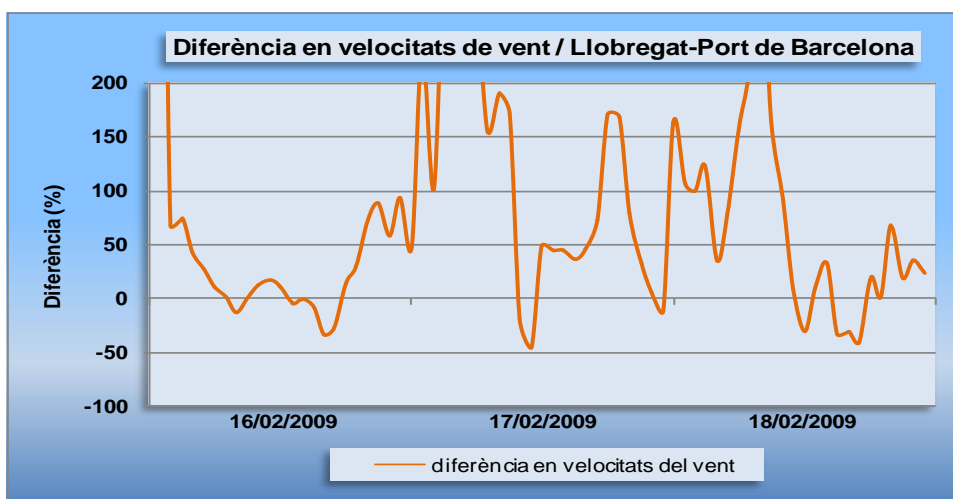


Fig. A2.29 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Llobregat-Port de Barcelona)

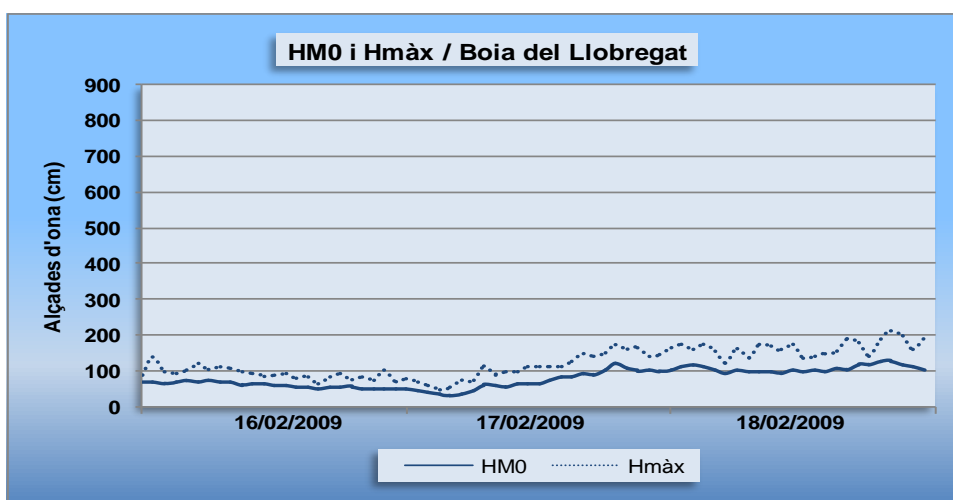


Fig. A2.30 Gràfica d'alçades d'ona (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

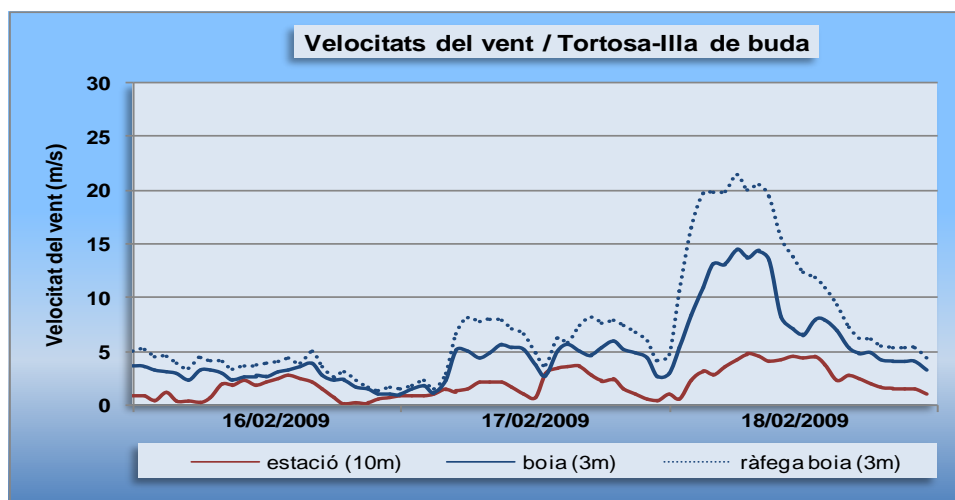


Fig. A2.31 Gràfica de velocitats mitjanes del vent (Tortosa-Illa de buda)

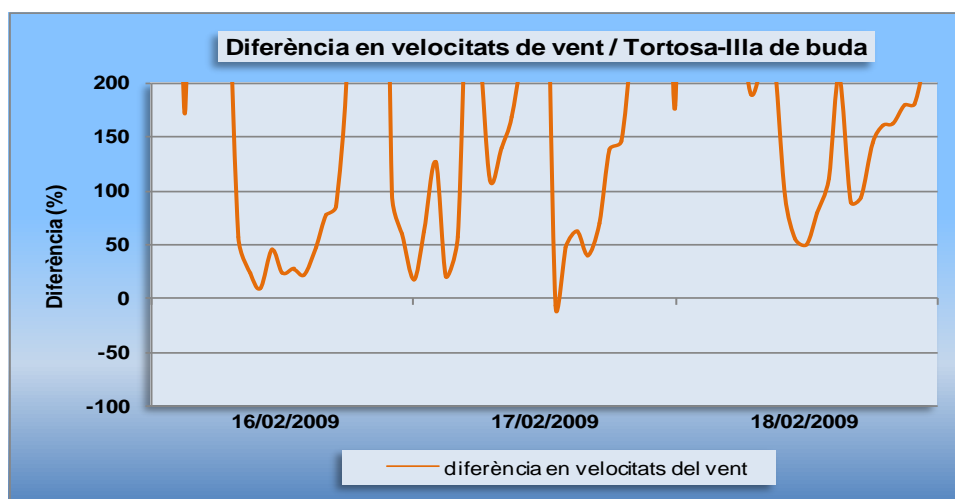


Fig. A2.32 Gràfica de diferències entre velocitats mitjanes (Tortosa-Illa de buda)

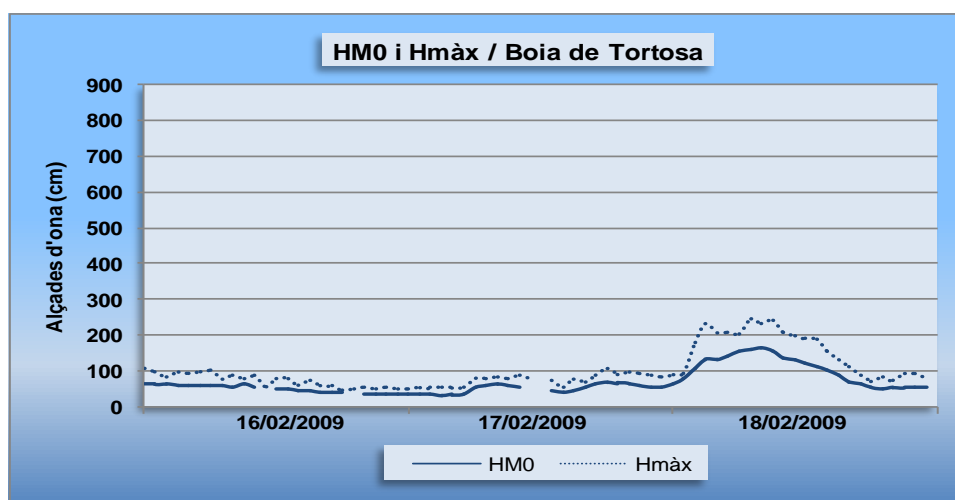


Fig. A2.33 Gràfica d'alçades d'ona (Tortosa-Illa de buda)

1.2 ESTUDI DE DIRECCIONS

- Estudi del 26/12/2008 al 29/12/2008 (temporal de llevant)

Roses-St. Pere Pescador

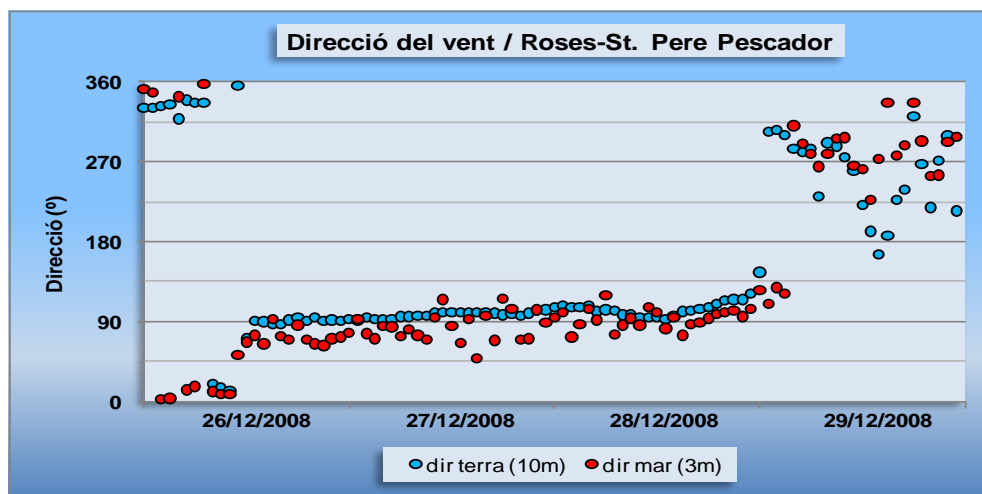


Fig. A2.34 Gràfica de les direccions del vent (Roses-St. Pere Pescador)

Blanes-Malgrat de mar

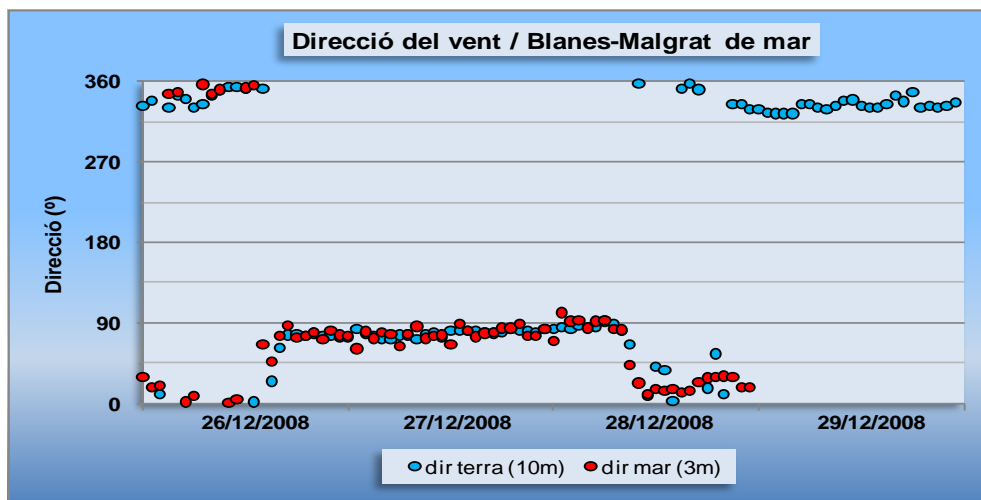


Fig. A2.35 Gràfica de les direccions del vent (Blanes-Malgrat de mar)

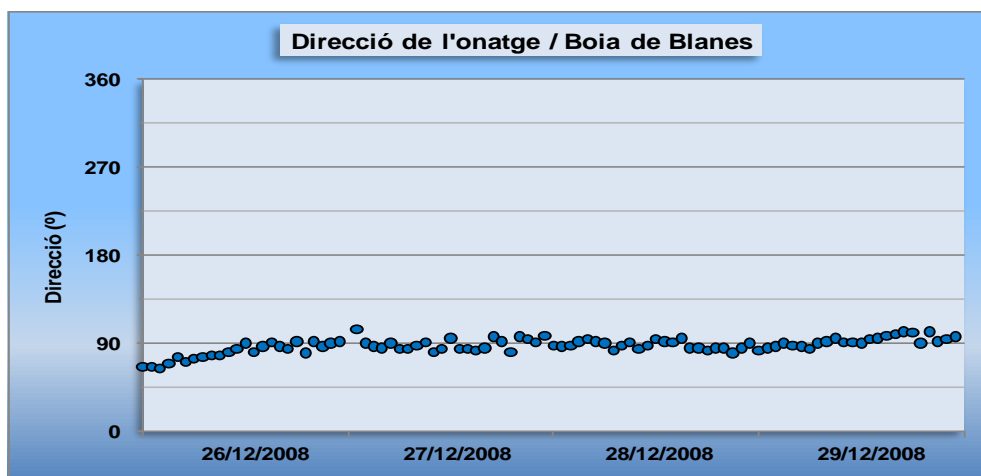


Fig. A2.36 Gràfica de la direcció de l'onatge (Blanes-Malgrat de mar)

Llobregat-Port de Barcelona

No es disposa de les dades del Port de Barcelona.

Tortosa-Illa de buda

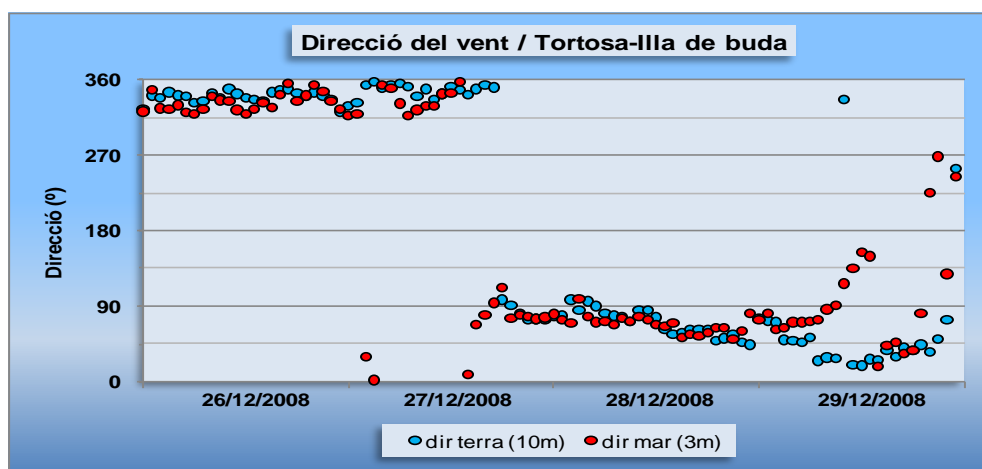


Fig. A2.37 Gràfica de les direccions del vent (Tortosa-Illa de buda)

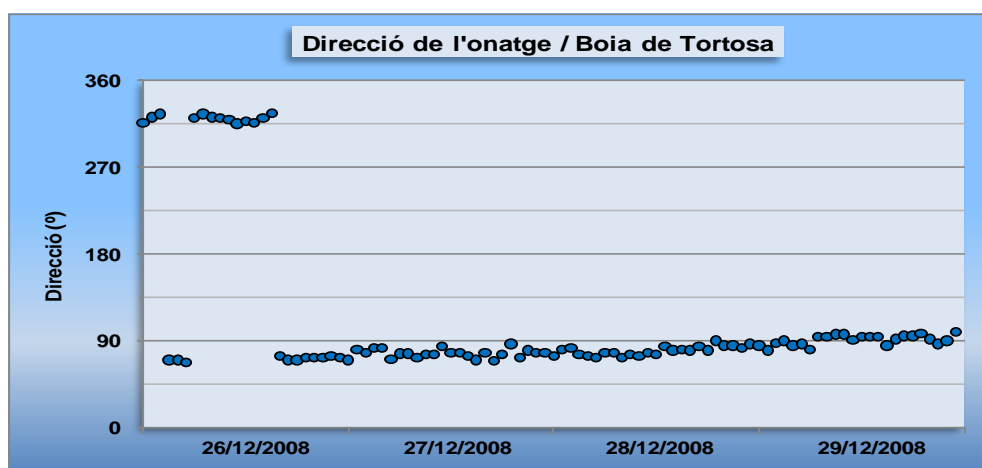


Fig. A2.38 Gràfica de la direcció de l'onatge (Tortosa-Illa de buda)

- Episodi del 20/10/2009 al 23/10/2009 (temporal de llevant)

Roses-St. Pere Pescador

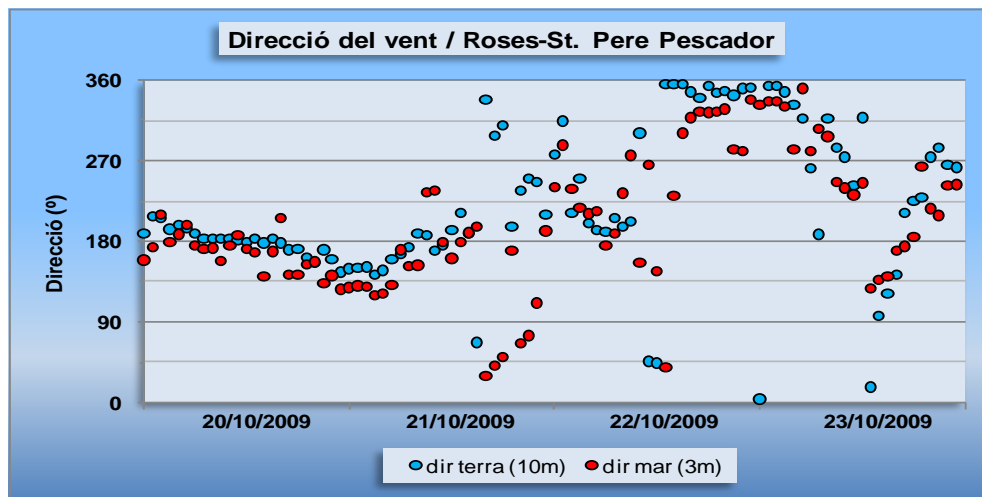


Fig. A2.39 Gràfica de les direccions del vent (Roses-St. Pere Pescador)

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

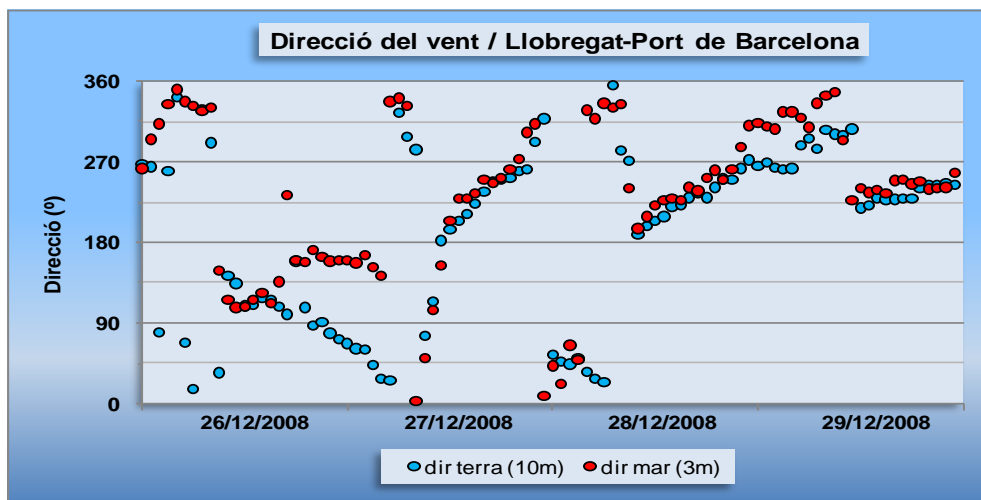


Fig. A2.40 Gràfica de les direccions del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

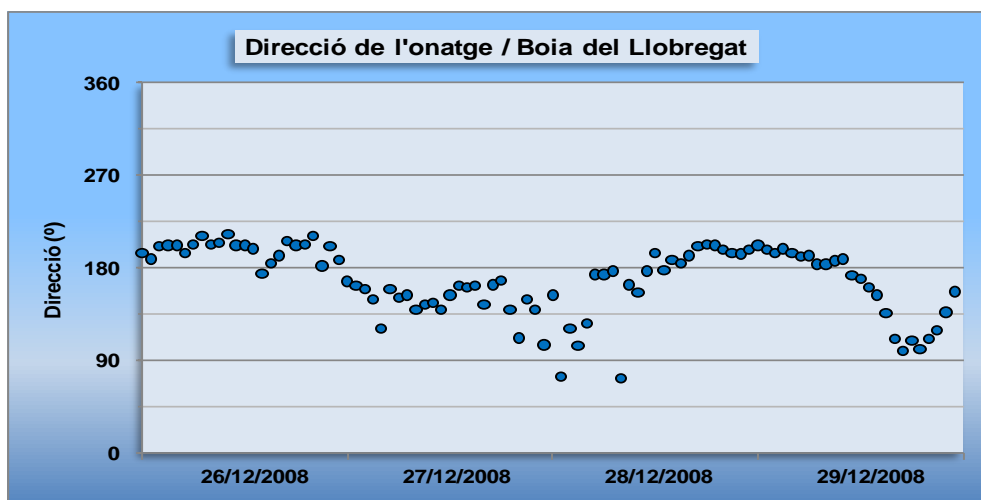


Fig. A2.41 Gràfica de la direcció de l'onatge (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Cap Tortosa.

- Episodi del 23/01/2009 al 26/01/2009 (temporal de ponent)

Roses-St. Pere Pescador

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Roses.

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

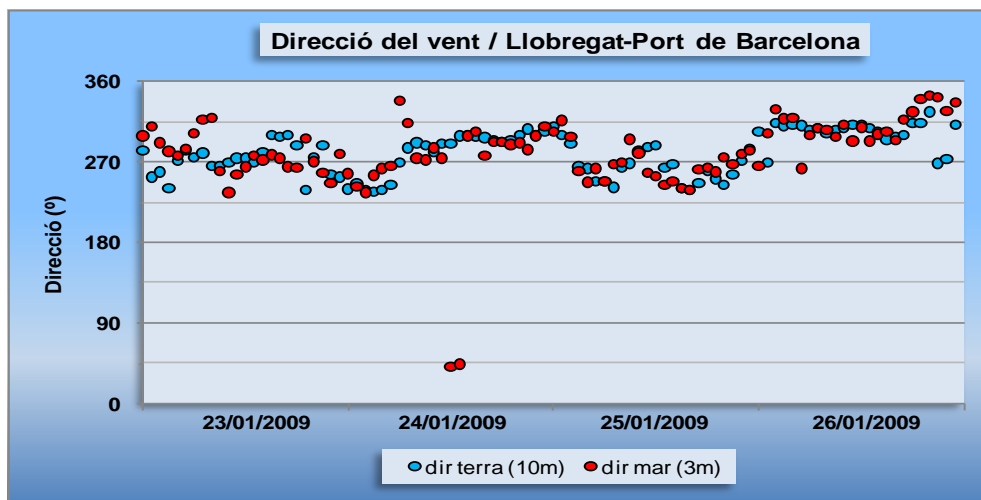


Fig. A2.42 Gràfica de les direccions del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

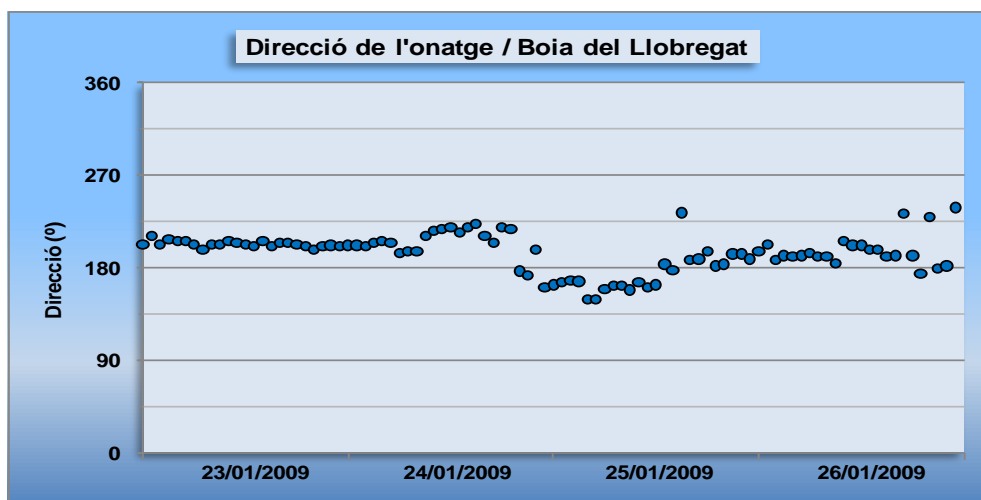


Fig. A2.43 Gràfica de la direcció de l'onatge (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

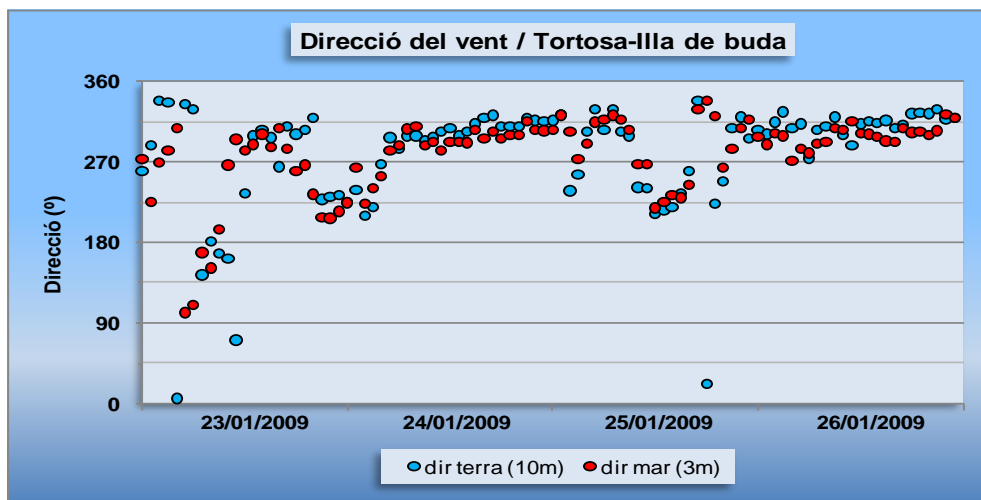


Fig. A2.44 Gràfica de les direccions del vent (Tortosa-Illa de buda)

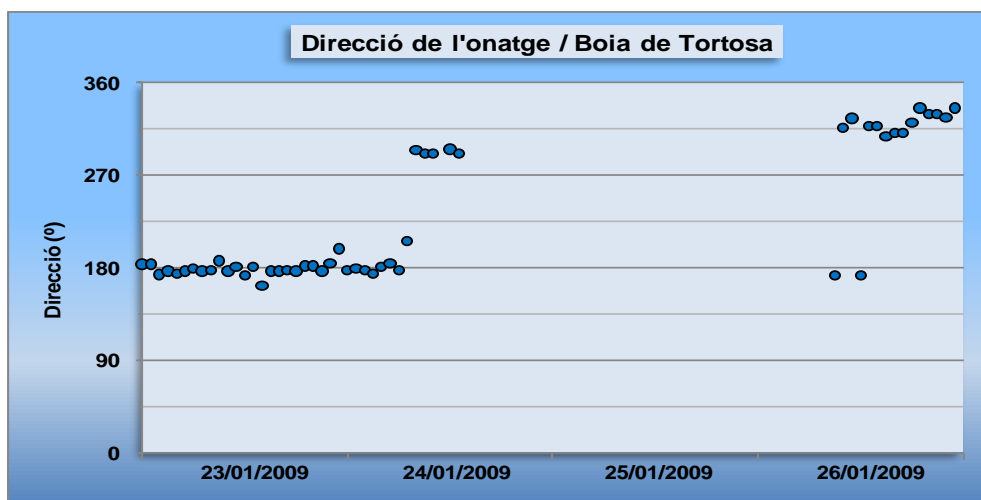


Fig. A2.45 Gràfica de la direcció de l'onatge (Tortosa-Illa de buda)

- Episodi del 02/11/2009 al 06/11/2009 (temporal de ponent)

Roses-St. Pere Pescador

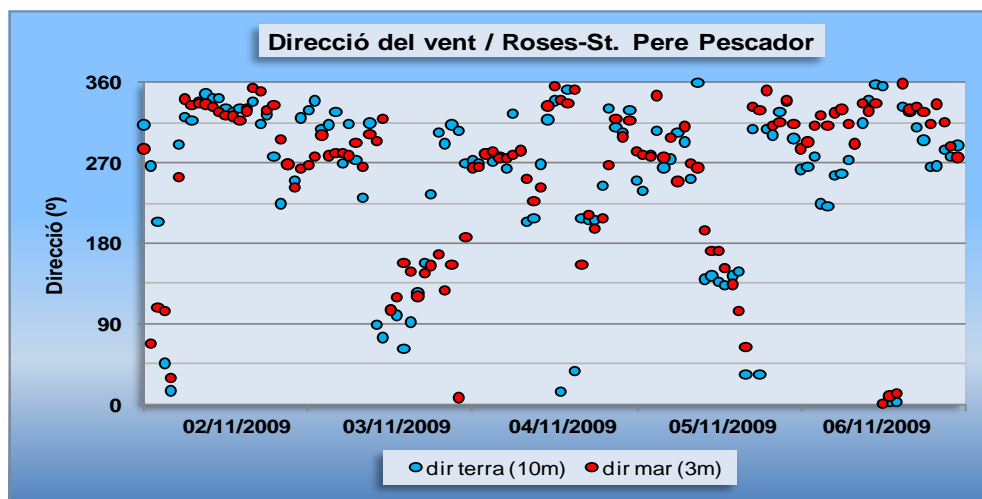


Fig. A2.46 Gràfica de les direccions del vent (Roses-St. Pere Pescador)

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

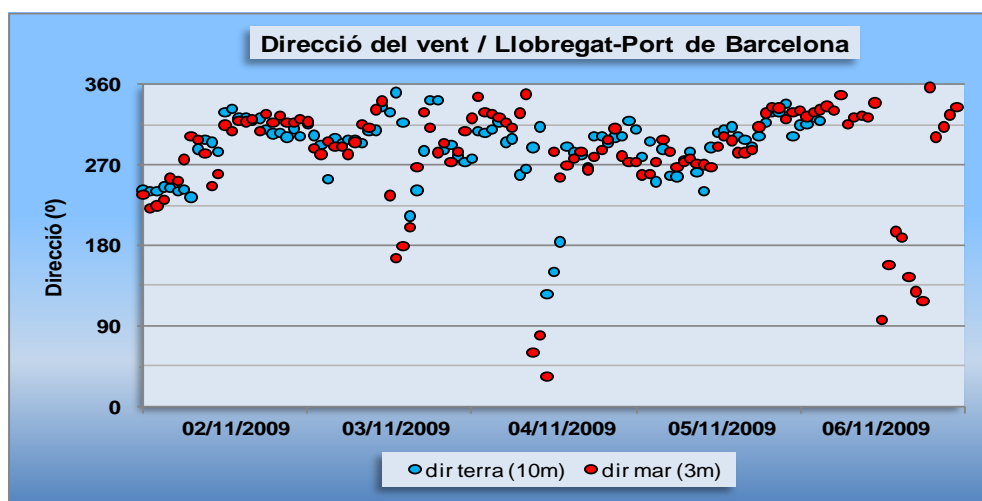


Fig. A2.47 Gràfica de les direccions del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

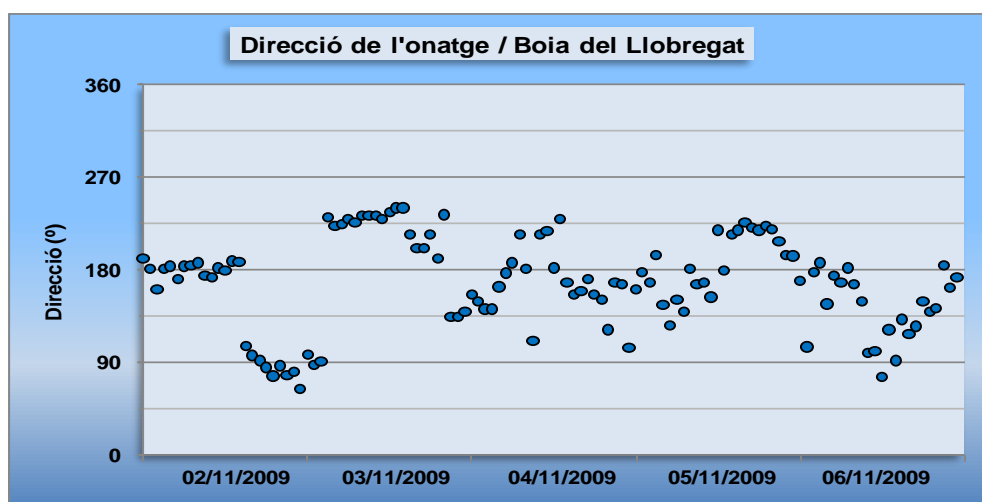


Fig. A2.48 Gràfica de la direcció de l'onatge (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Cap Tortosa.

- Estudi del 16/02/2009 al 18/02/2009 (calma marítima)

Roses-St. Pere Pescador

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Roses.

No es disposa de les dades de la boia escalar de Roses.

Blanes-Malgrat de mar

No es disposa de les dades de la boia meteorològica de Blanes.

Llobregat-Port de Barcelona

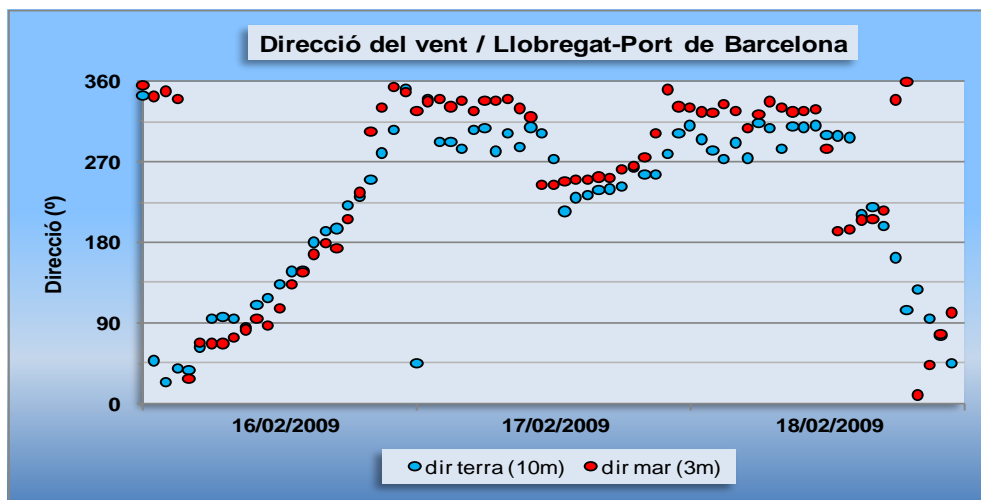


Fig. A2.49 Gràfica de les direccions del vent (Llobregat-Port de Barcelona)

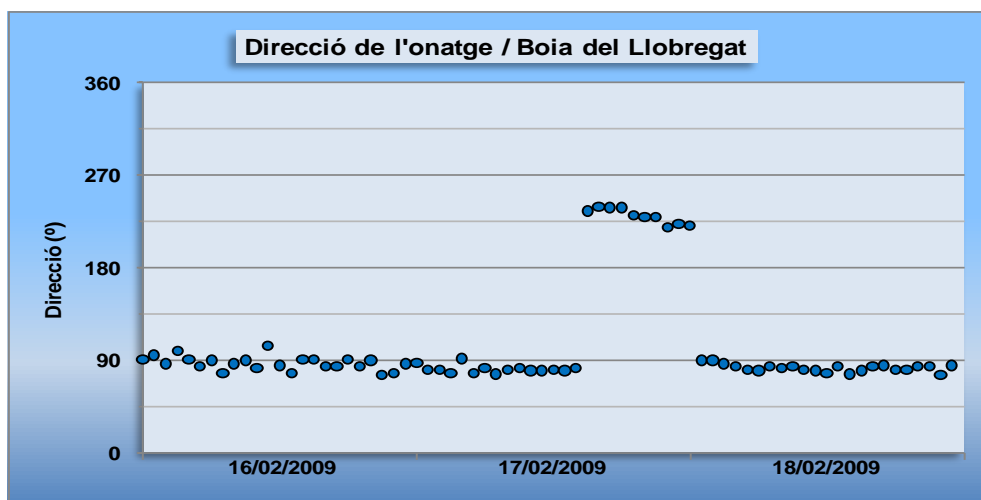


Fig. A2.50 Gràfica de la direcció de l'onatge (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

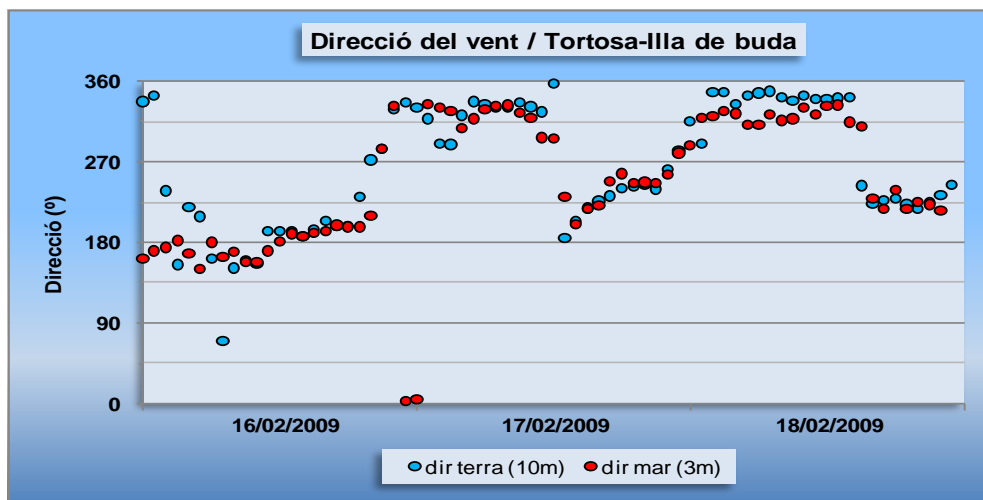


Fig. A2.51 Gràfica de les direccions del vent (Tortosa-Illa de buda)

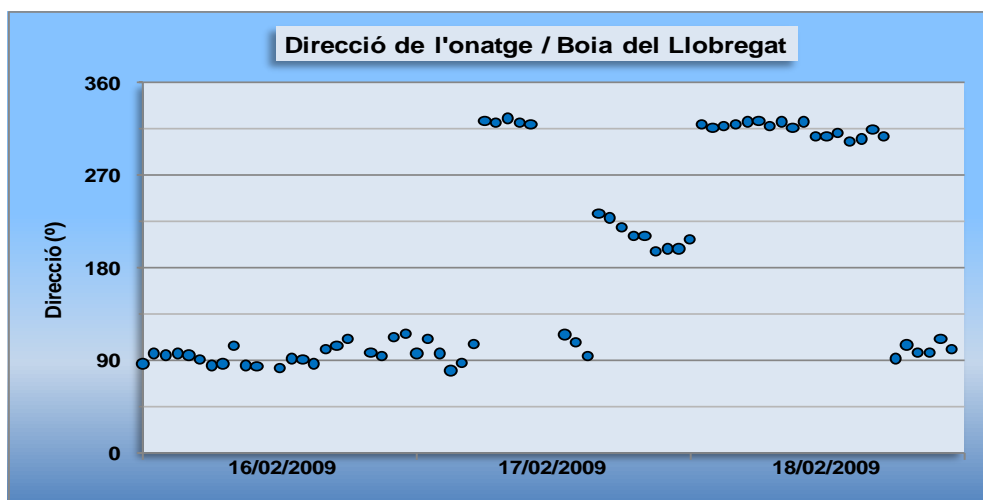


Fig. A2.52 Gràfica de la direcció de l'onatge (Tortosa-Illa de buda)

2. ESTUDI PROBABILÍSTIC

En aquest annex s'adjunten taules on figuren els valors dels paràmetres de la funció densitat de Gumbel ajustada. La fórmula genèrica de la funció densitat de Gumbel ja s'ha adjuntat en l'apartat 6.2 de resultats, i també en l'apartat 10.1 dels annexos.

Com s'ha comentat en l'apartat 5.3 les columnes dels histogrames que apareixen destacades en negre, representen dades que han estat desestimades per als càlculs.

Roses-St. Pere Pescador

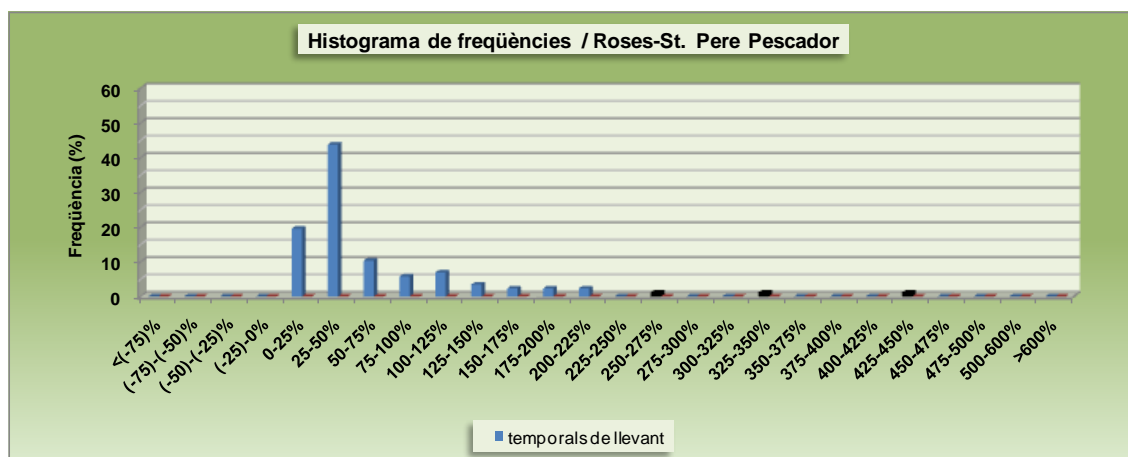


Fig. A2.53 Histograma de freqüències (Roses-St. Pere Pescador)

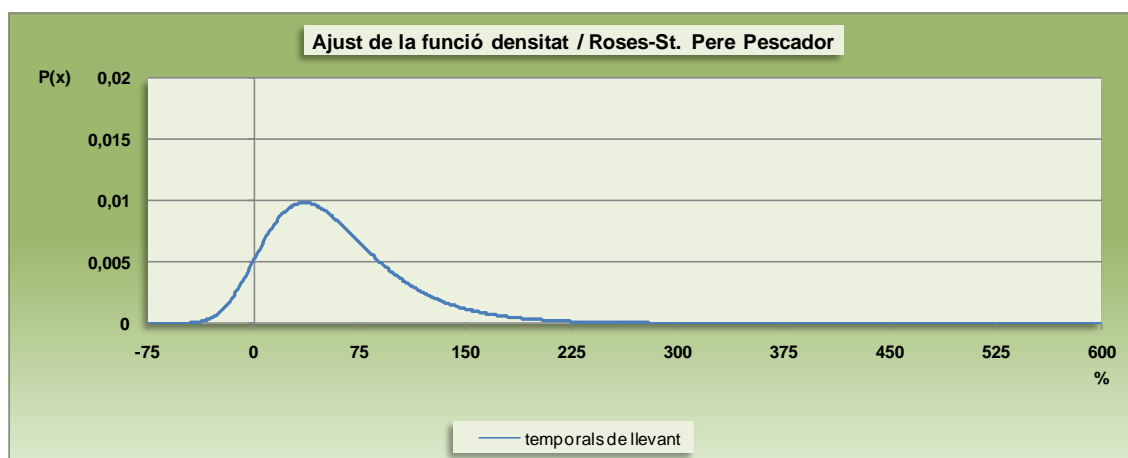


Fig. A2.54 Ajust de les funcions densitat de probabilitat de Gumbel (Roses-St. Pere Pescador)

	TEMPORALS DE LLEVANT	TEMPORALS DE PONENT
μ	35,580	-
σ	37,295	-

Taula A2.1 Paràmetres de la funció densitat de Gumbel (Roses-St. Pere Pescador)

Blanes-Malgrat de mar

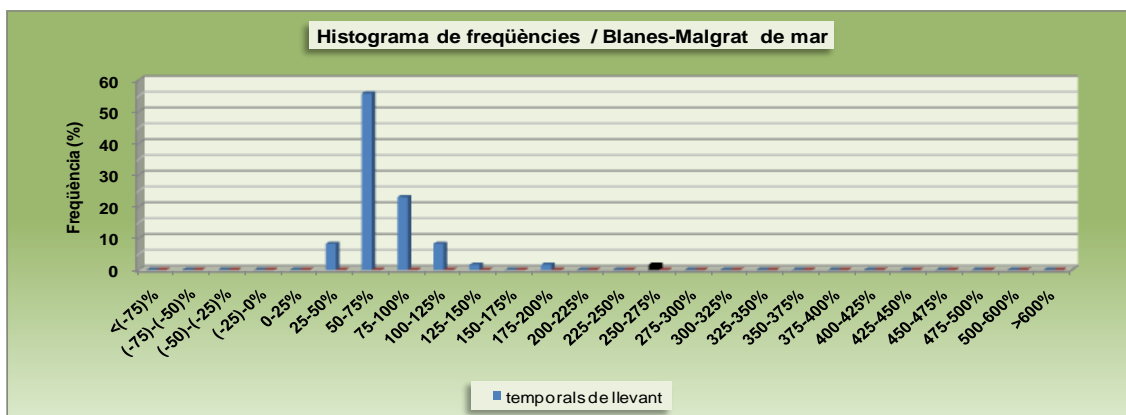


Fig. A2.55 Histograma de freqüències (Blanes-Malgrat de mar)

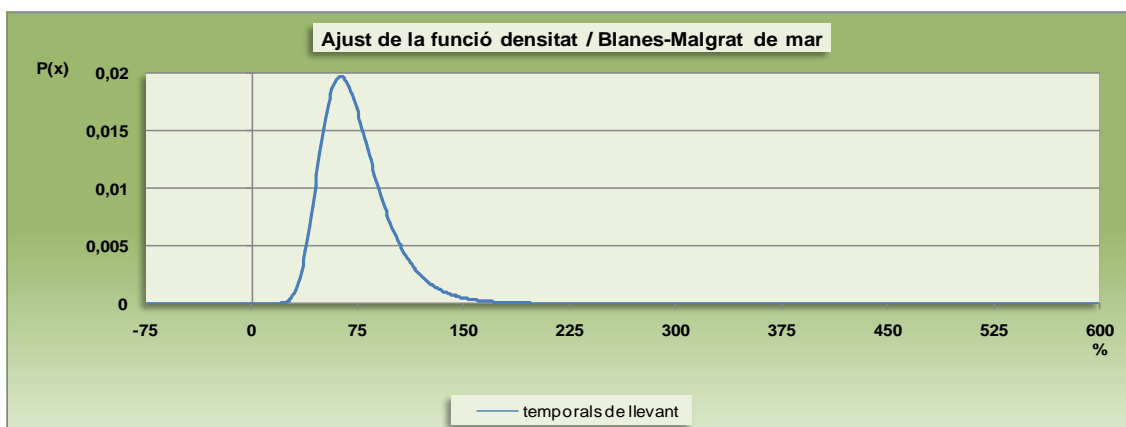


Fig. A2.56 Ajust de les funcions densitat de probabilitat de Gumbel (Blanes-Malgrat de mar)

	TEMPORALS DE LLEVANT	TEMPORALS DE PONENT
μ	62,911	-
σ	18,634	-

Taula A2.2 Paràmetres de la funció densitat de Gumbel (Blanes-Malgrat de mar)

Llobregat-Port de Barcelona

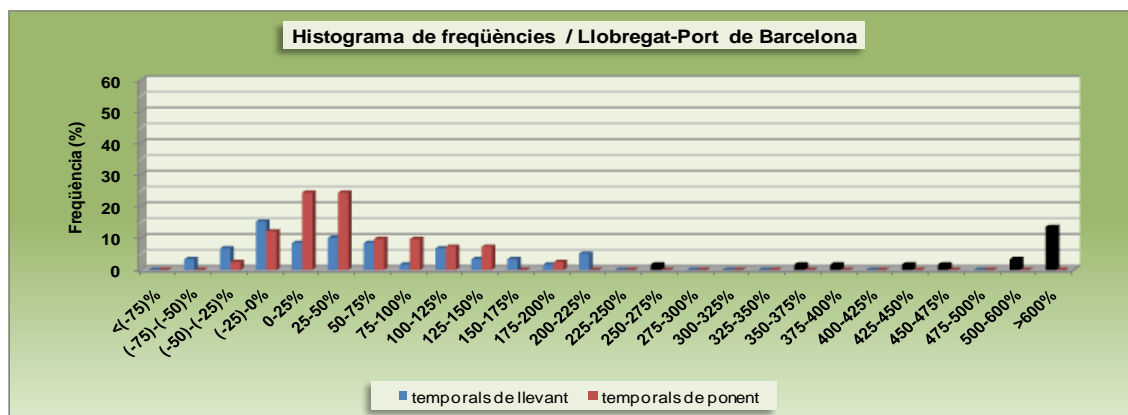


Fig. A2.57 Histograma de freqüències (Llobregat-Port de Barcelona)

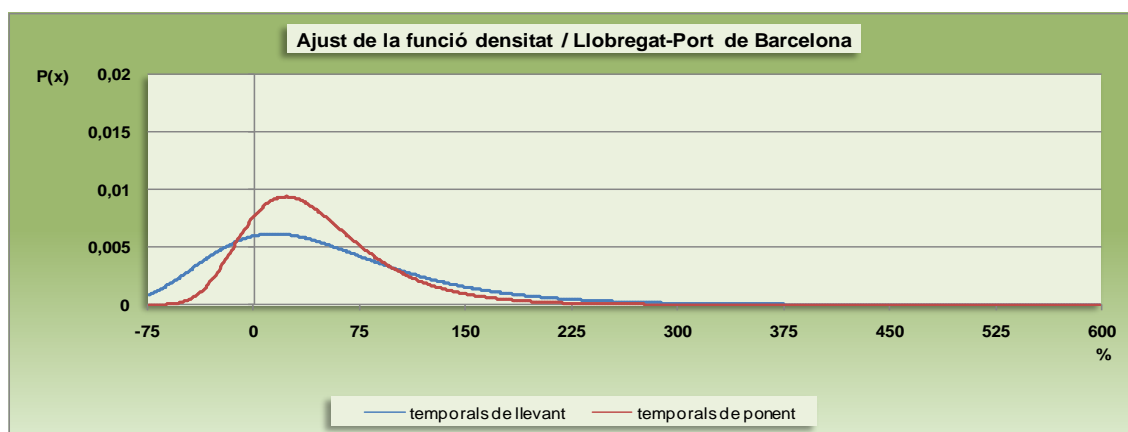


Fig. A2.58 Ajust de les funcions densitat de probabilitat de Gumbel (Llobregat-Port de Barcelona)

	TEMPORALS DE LLEVANT	TEMPORALS DE PONENT
μ	14,338	22,557
σ	59,776	39,093

Taula A2.3 Paràmetres de la funció densitat de Gumbel (Llobregat-Port de Barcelona)

Tortosa-Illa de buda

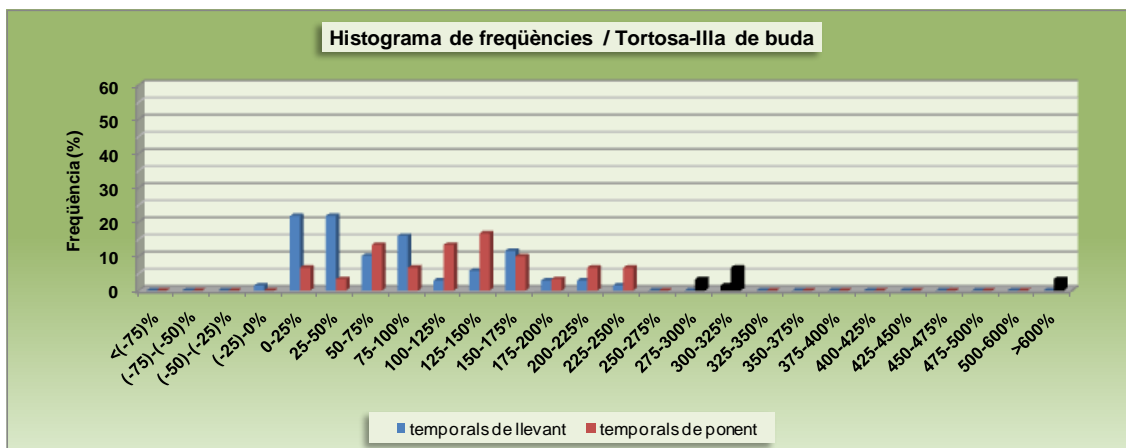


Fig. A2.59 Histograma de freqüències (Tortosa-Illa de buda)

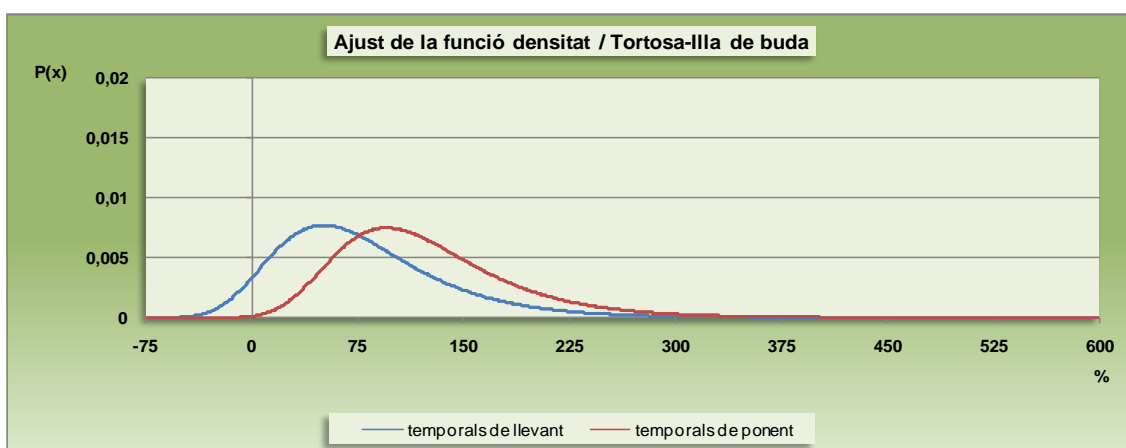


Fig. A2.60 Ajust de les funcions densitat de probabilitat de Gumbel (Tortosa-Illa de buda)

	TEMPORALS DE LLEVANT	TEMPORALS DE PONENT
μ	50,716	95,290
σ	47,599	48,94

Taula A2.4 Paràmetres de la funció densitat de Gumbel (Tortosa-Illa de buda)

Global

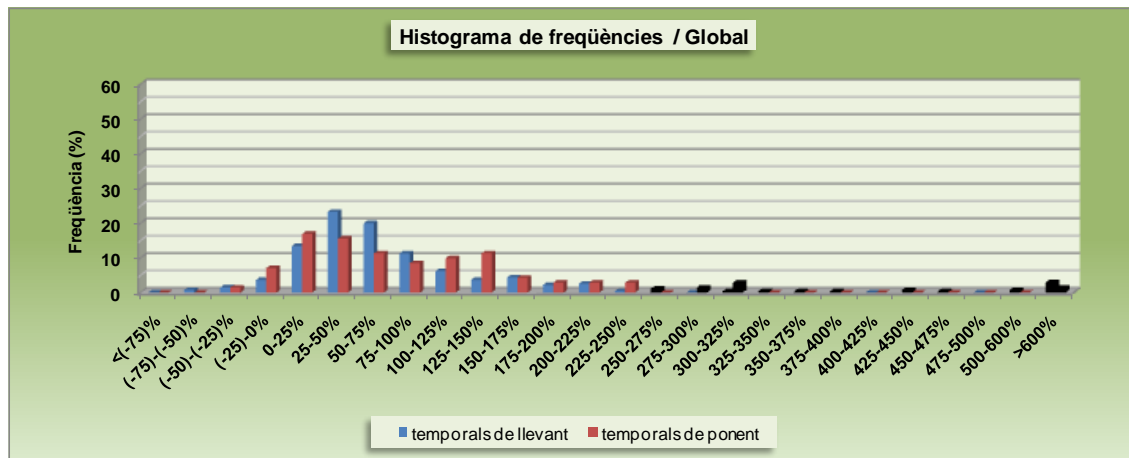


Fig. A2.61 Histograma de freqüències (Global)

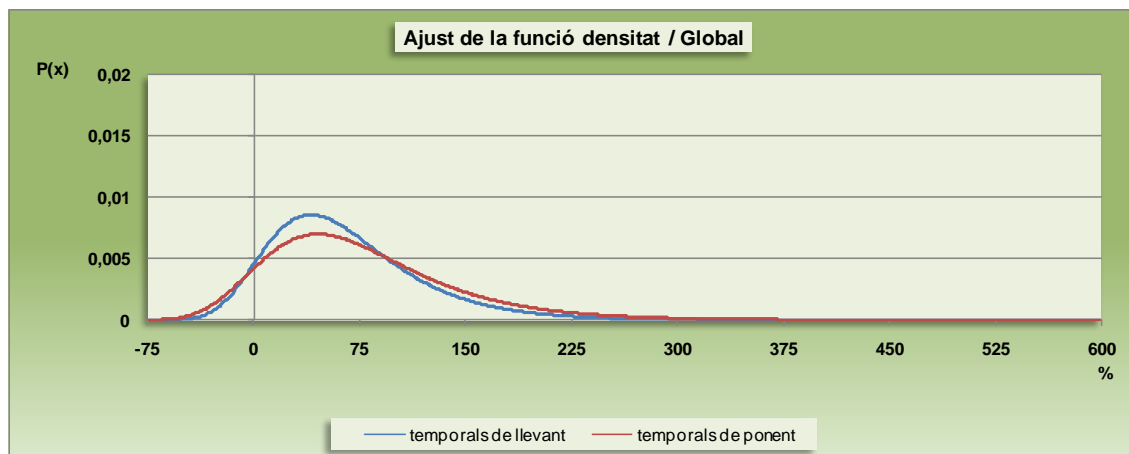


Fig. A2.62 Ajust de les funcions densitat de probabilitat de Gumbel (Global)

	TEMPORALS DE LLEVANT	TEMPORALS DE PONENT
μ	40,461	45,270
σ	42,802	52,463

Taula A2.5 Paràmetres de la funció densitat de Gumbel (Global)

3. PATRONS GENERALS DE COMPORTAMENT EN SÈRIES LLARGUES DE TEMPS

Gener 2010

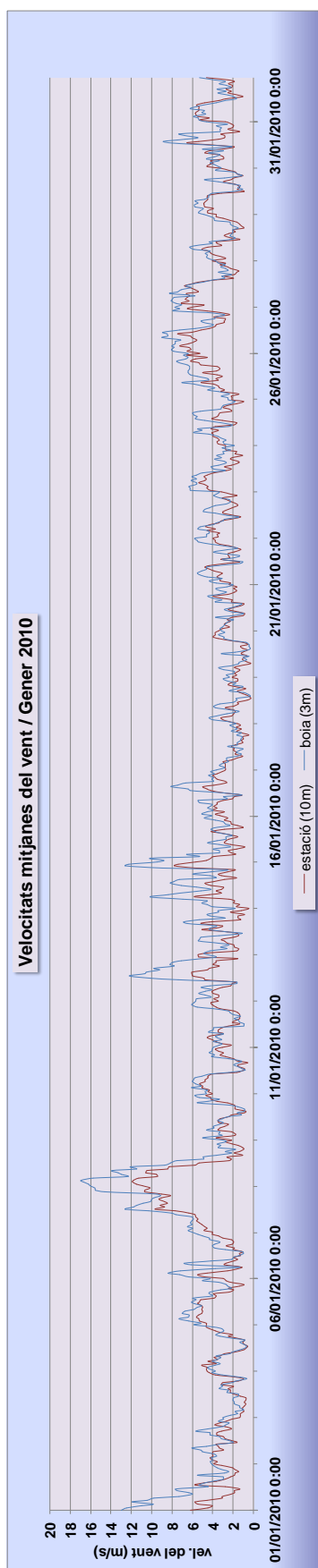


Fig. A2.63 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual gener 2010)

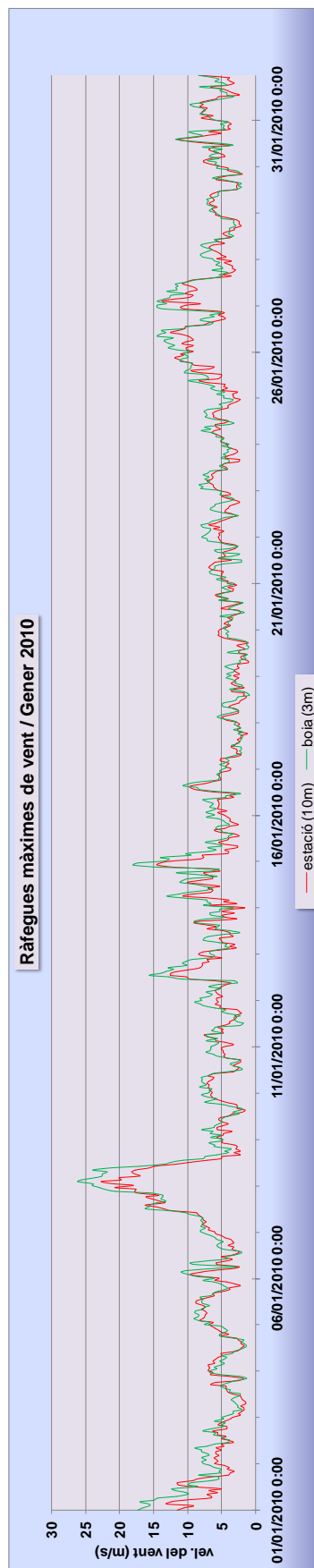


Fig. A2.64 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual gener 2010)

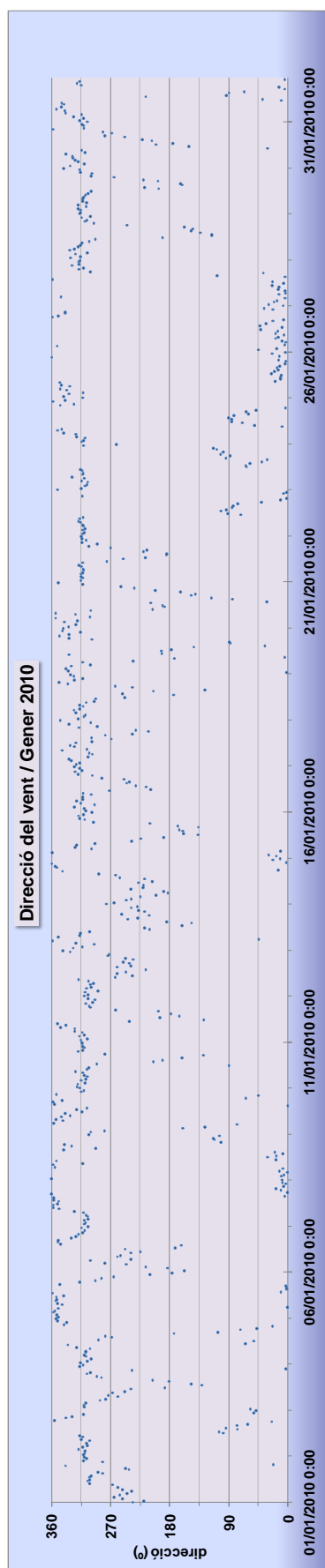


Fig. A2.65 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual gener 2010)

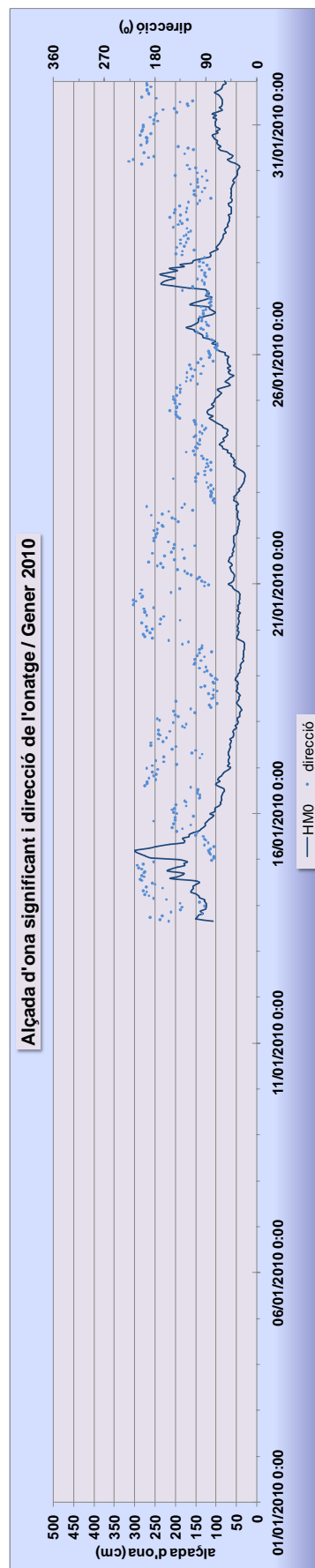


Fig. A2.66 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual gener 2010)

Febrer 2010

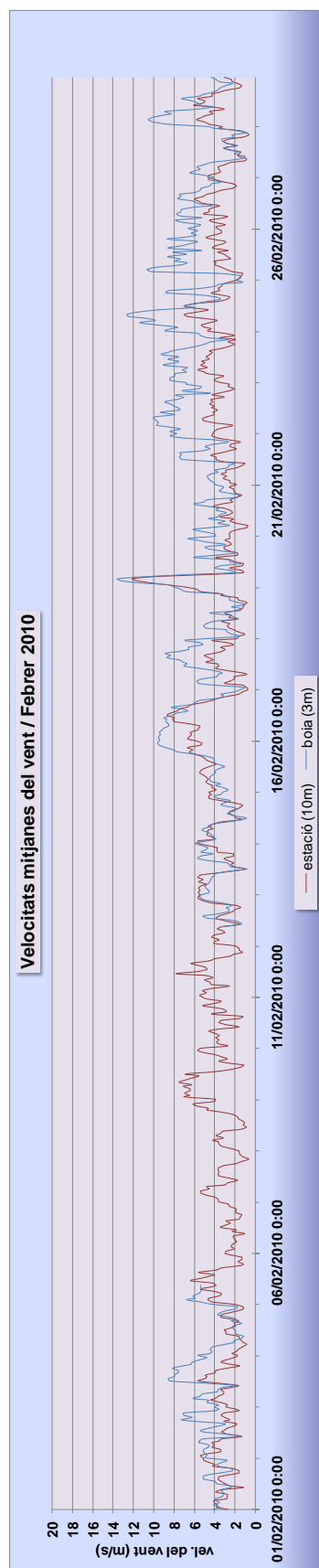


Fig. A2.67 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual febrer 2010)

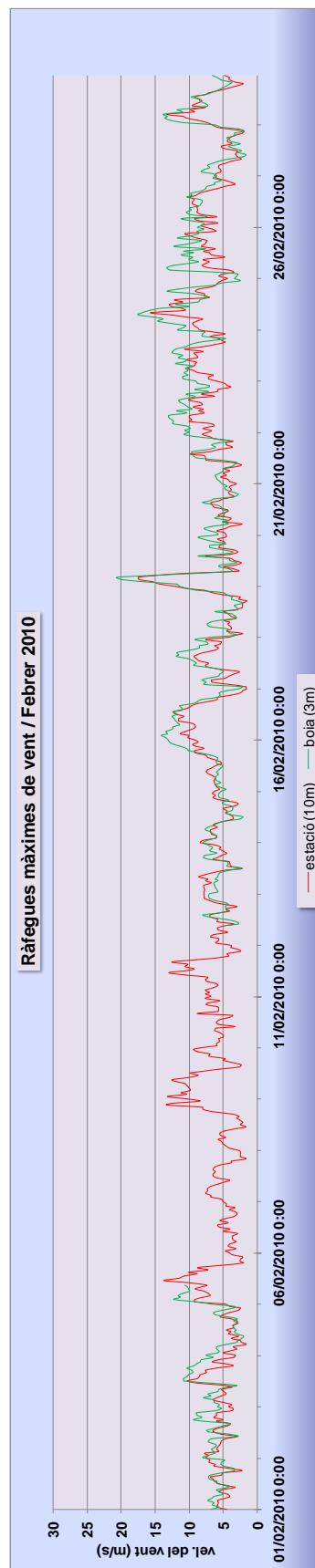


Fig. A2.68 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual febrer 2010)

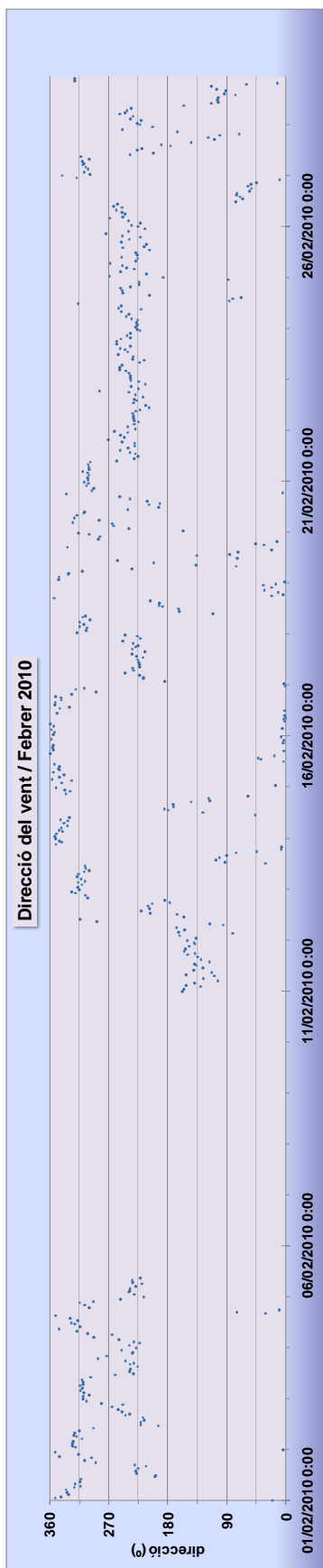


Fig. A2.69 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual febrer 2010)

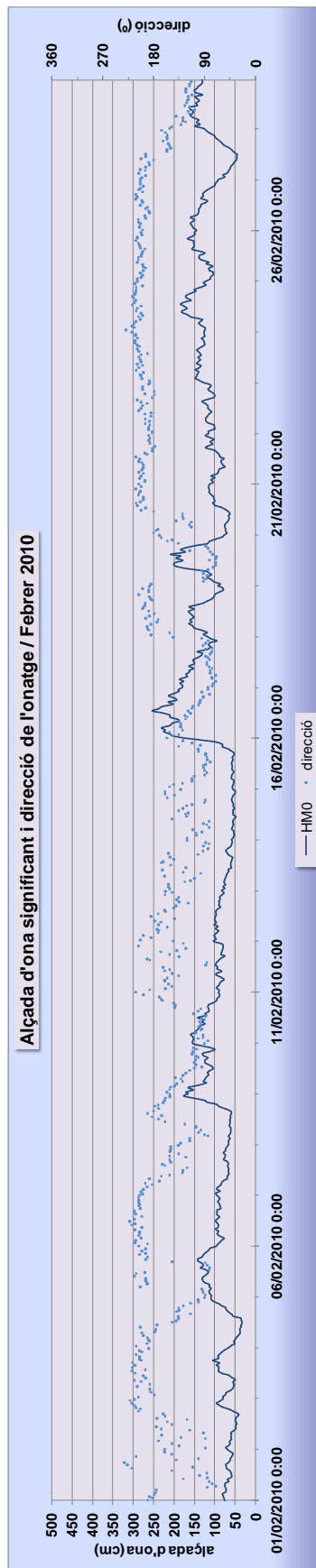


Fig. A2.70 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual febrer 2010)

Març 2010

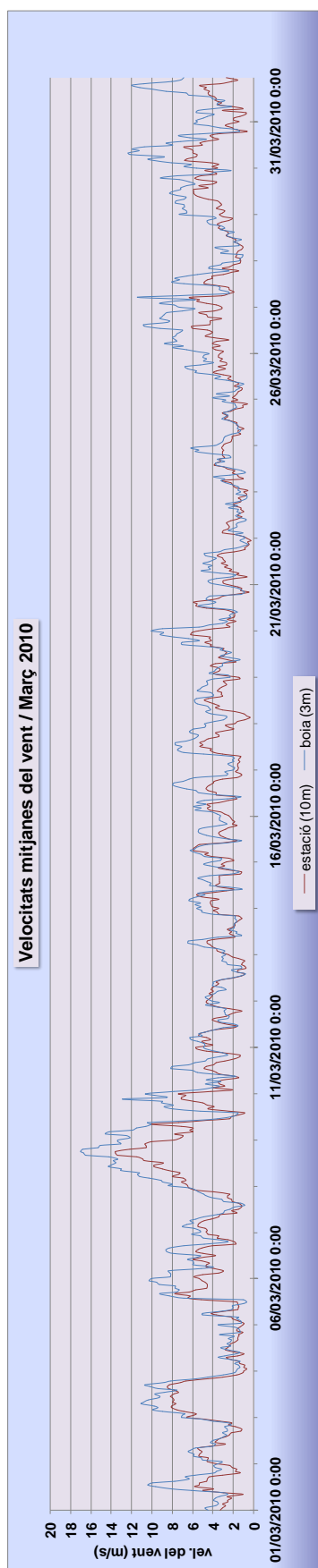


Fig. A2.71 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual març 2010)

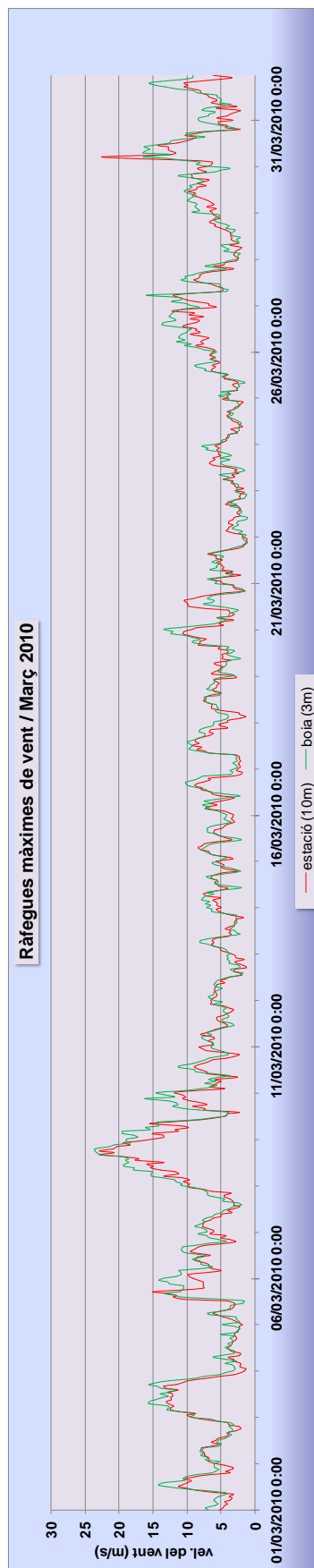


Fig. A2.72 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual març 2010)

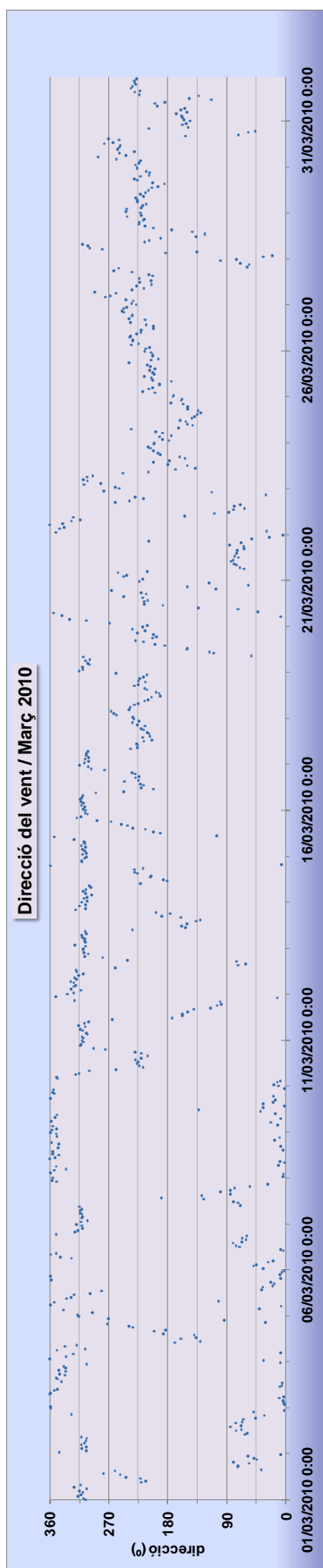


Fig. A2.73 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual març 2010)

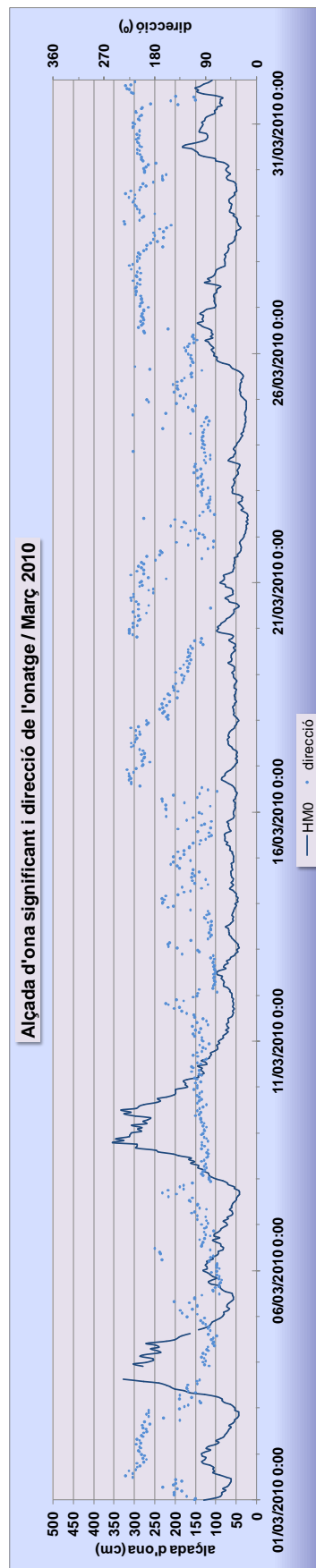


Fig. A2.74 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual març 2010)

Abril 2008

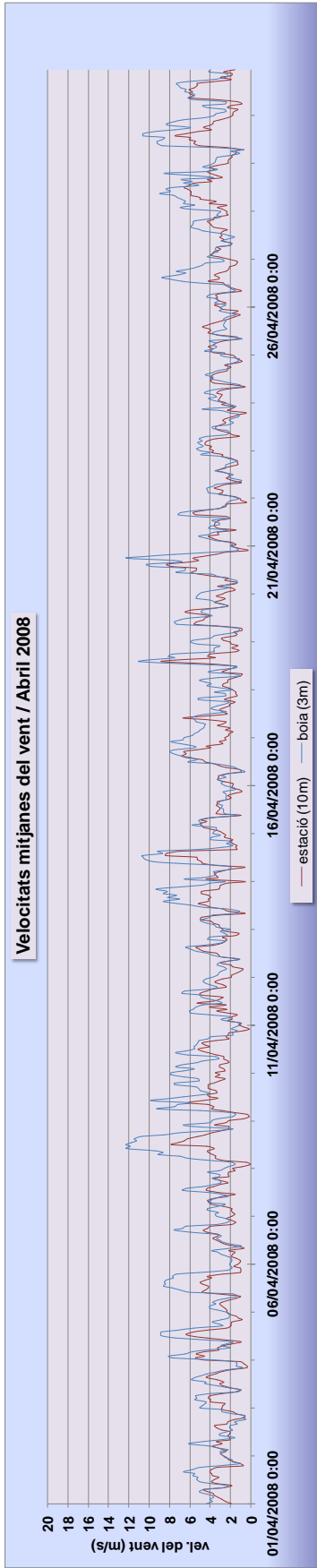


Fig. A2.75 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual abril 2008)

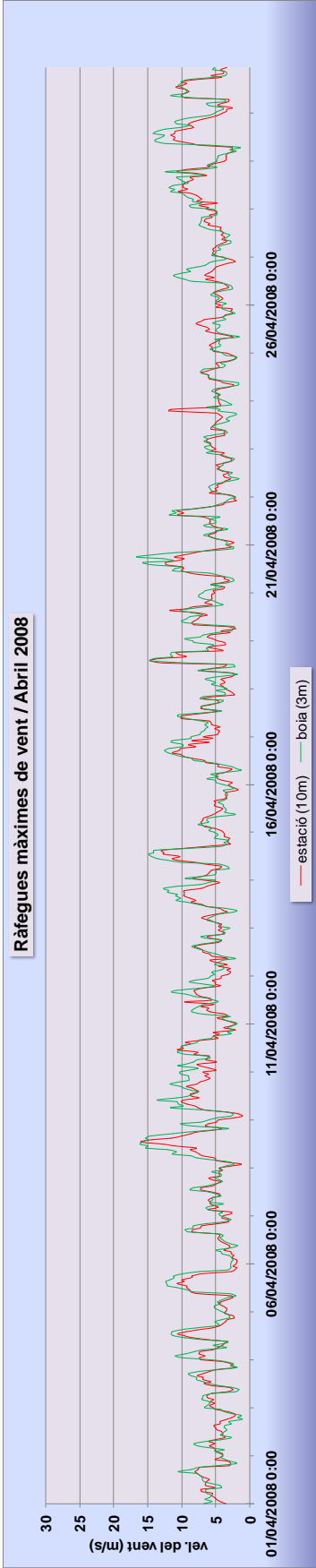


Fig. A2.76 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual abril 2008)

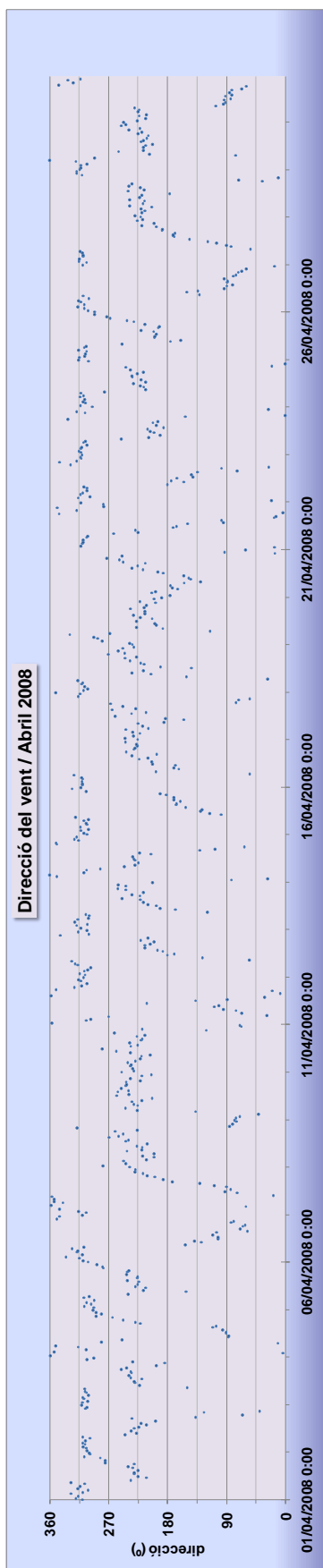


Fig. A2.77 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual abril 2008)

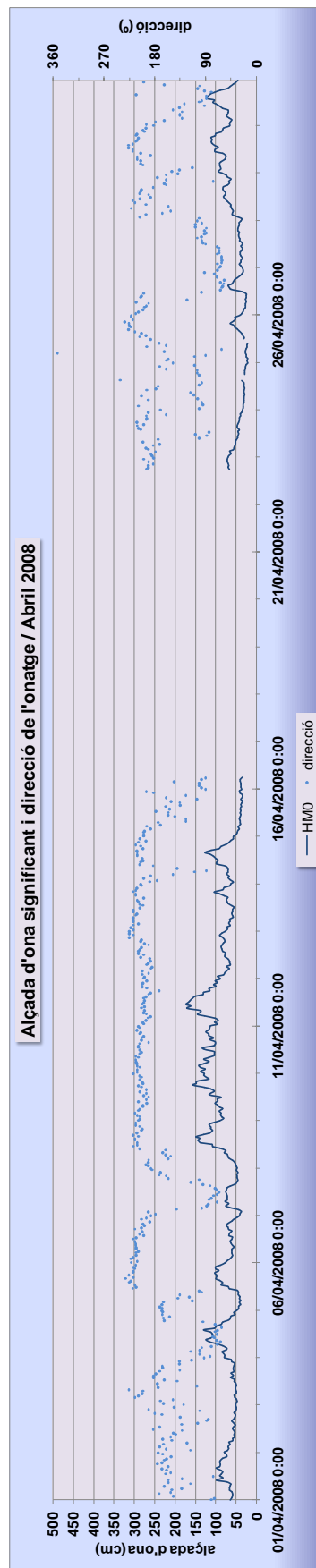


Fig. A2.78 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual abril 2008)

Maig 2009

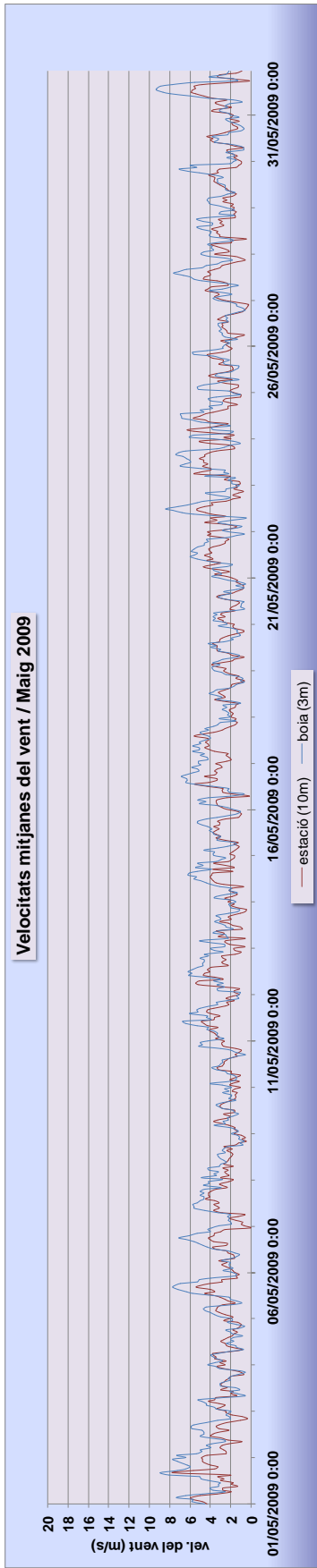


Fig. A2.79 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual maig 2009)

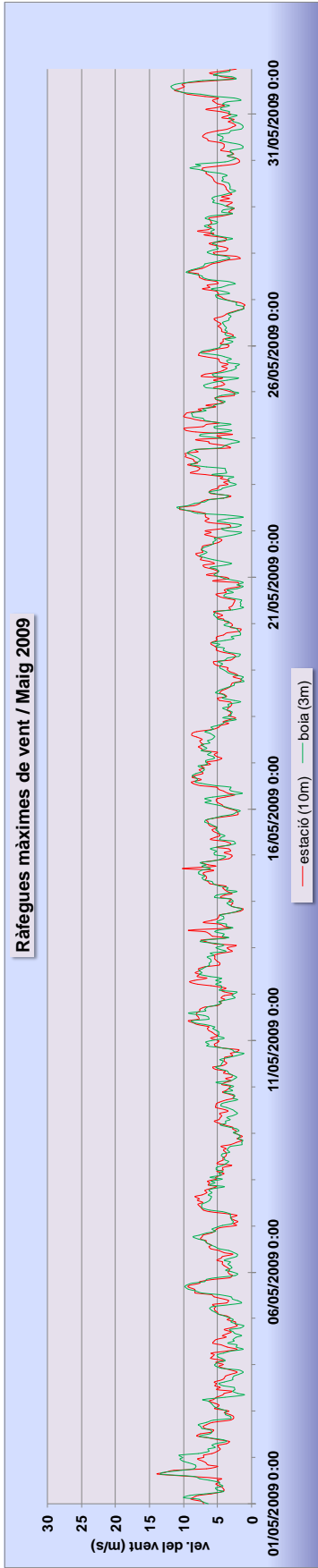


Fig. A2.80 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual maig 2009)

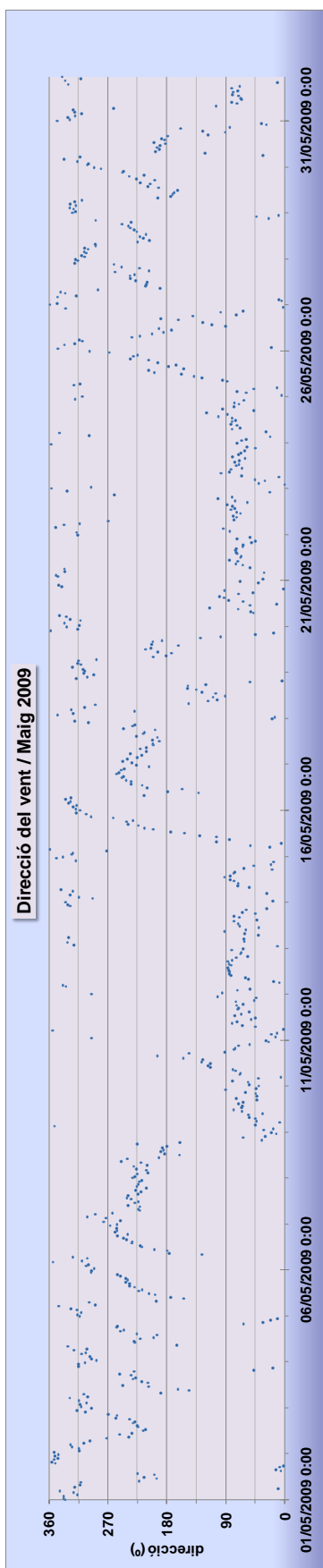


Fig. A2.81 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual maig 2009)

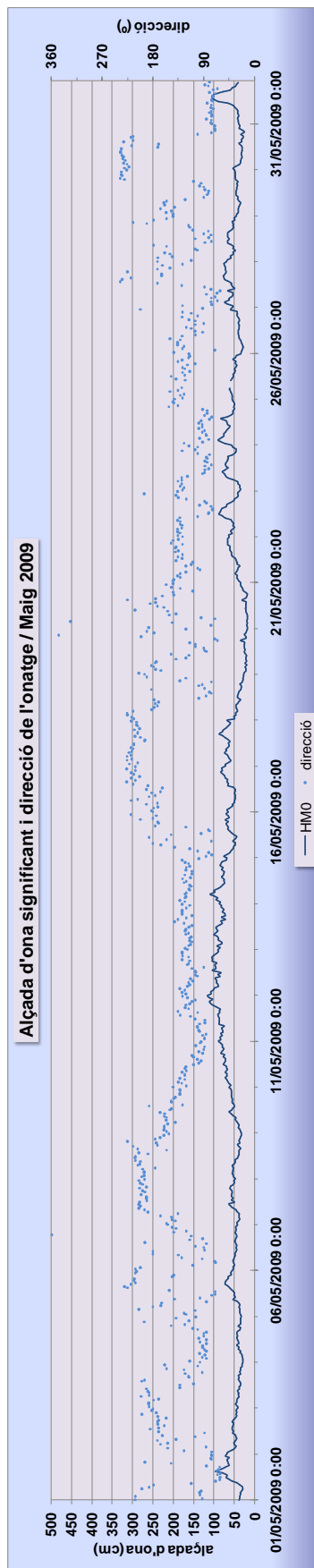


Fig. A2.82 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual maig 2009)

Juny 2009

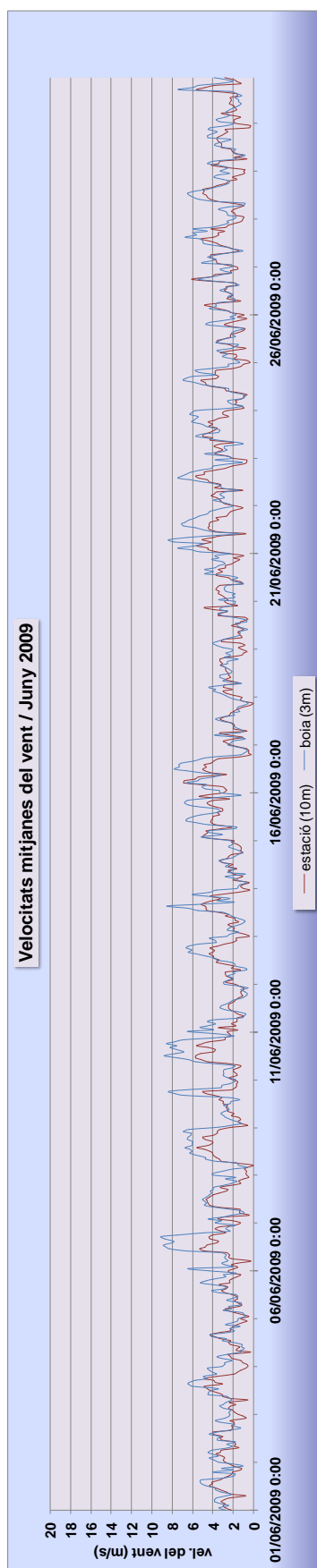


Fig. A2.83 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual juny 2009)

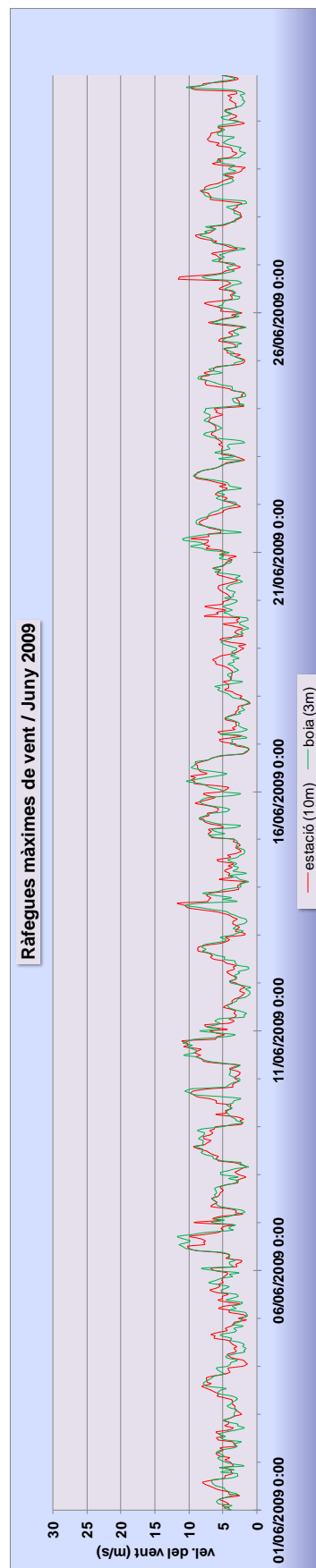


Fig. A2.84 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual juny 2009)

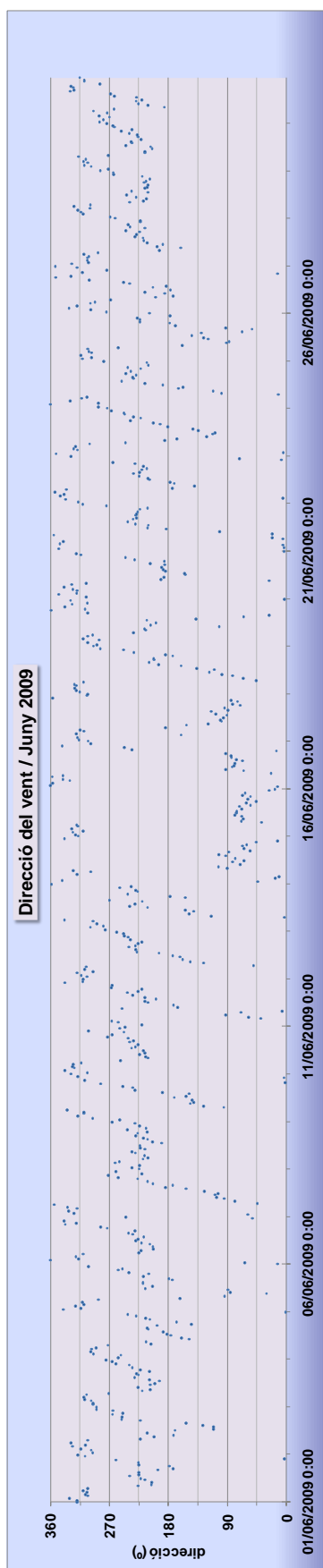


Fig. A2.85 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual juny 2009)

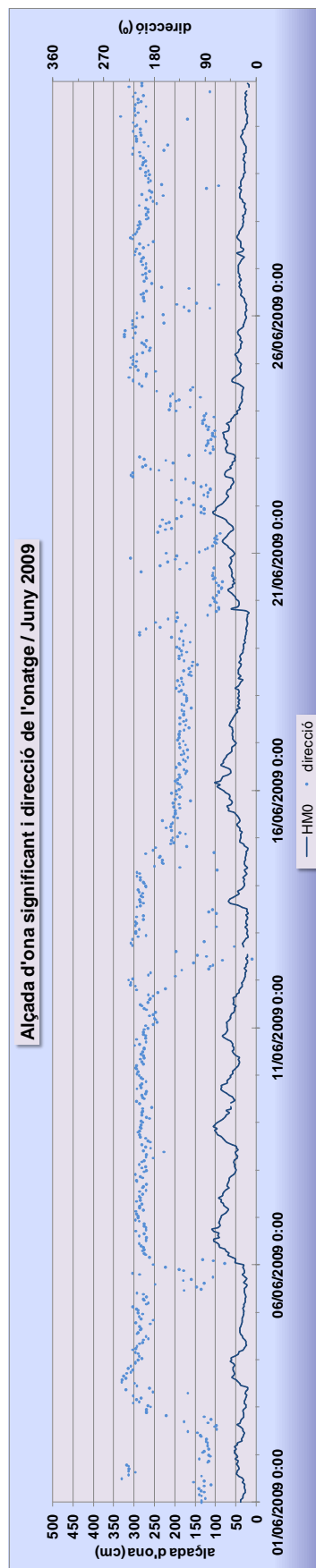


Fig. A2.86 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual juny 2009)

Juliol 2009

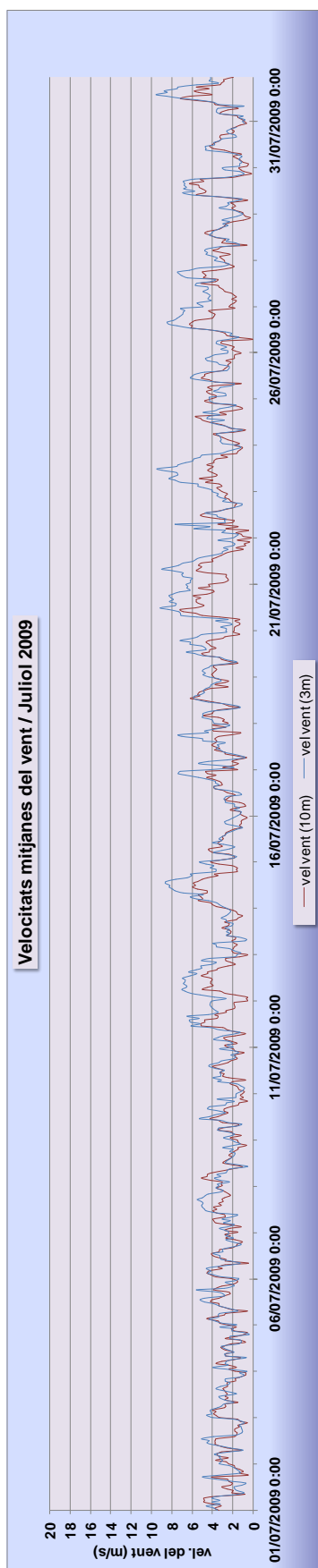


Fig. A2.87 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual juliol 2009)

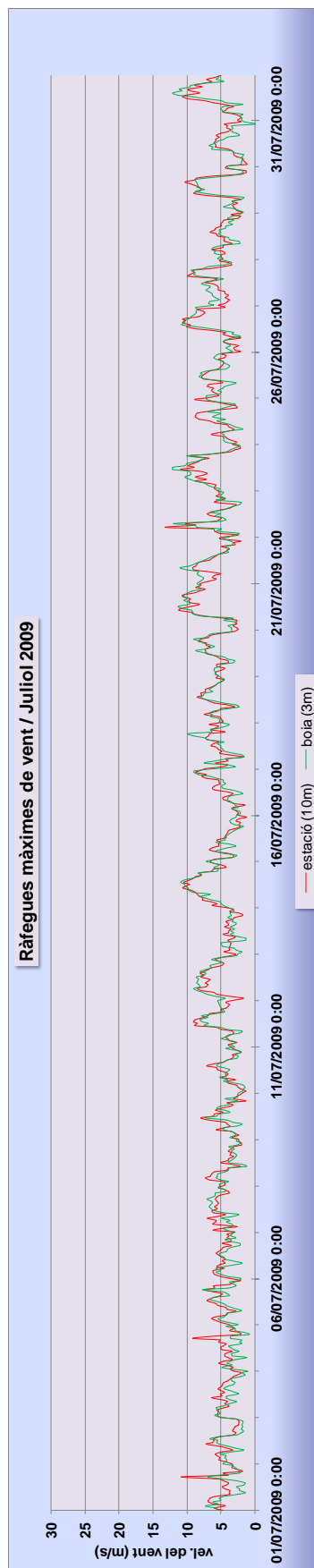


Fig. A2.88 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual juliol 2009)

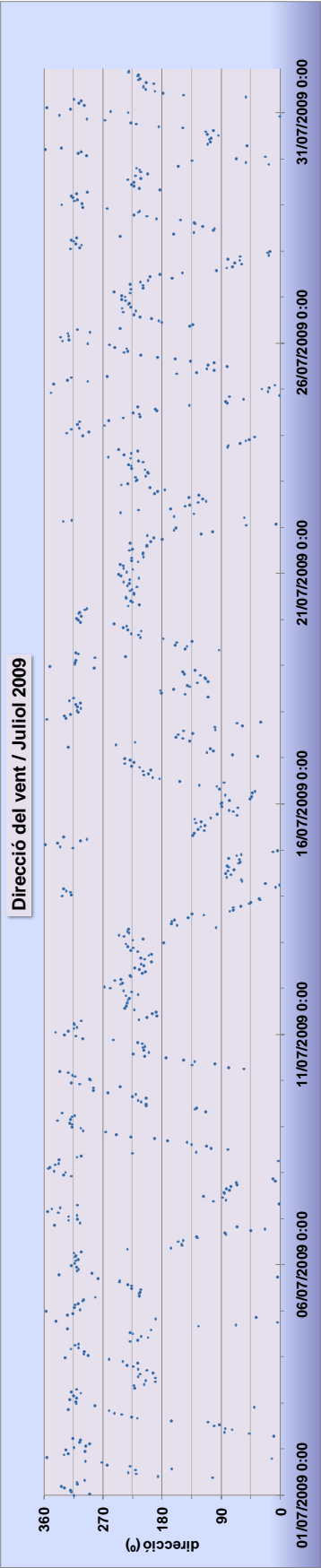


Fig. A2.89 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual juliol 2009)

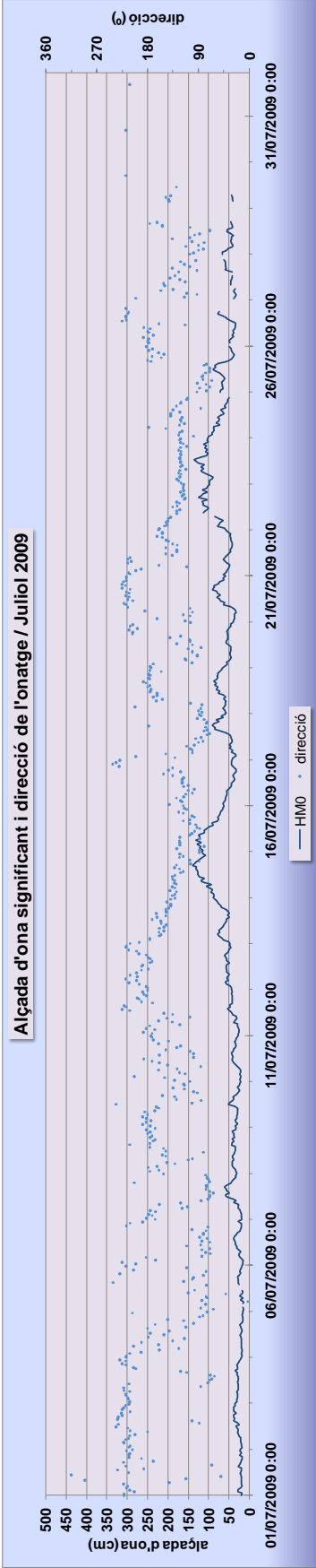


Fig. A2.90 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual juliol 2009)

Agost 2009

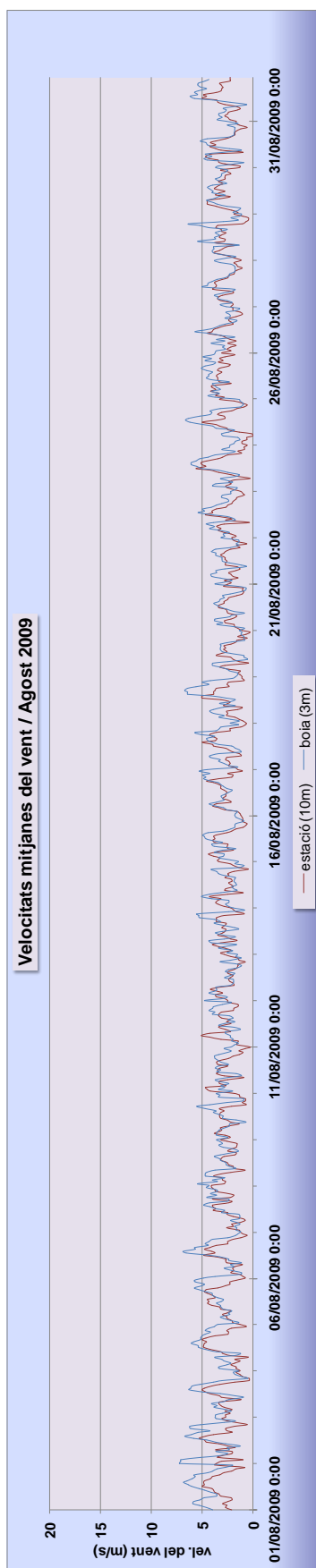


Fig. A2.91 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual agost 2009)

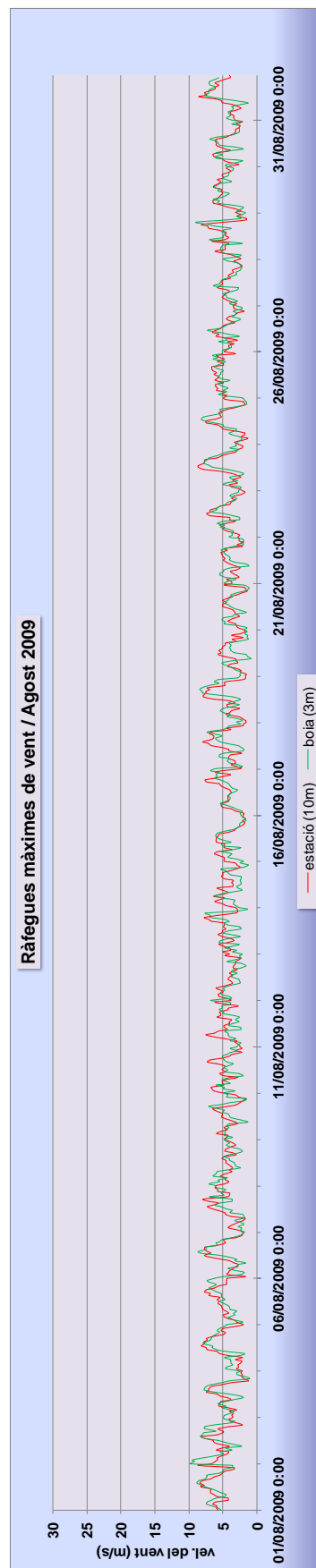


Fig. A2.92 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual agost 2009)

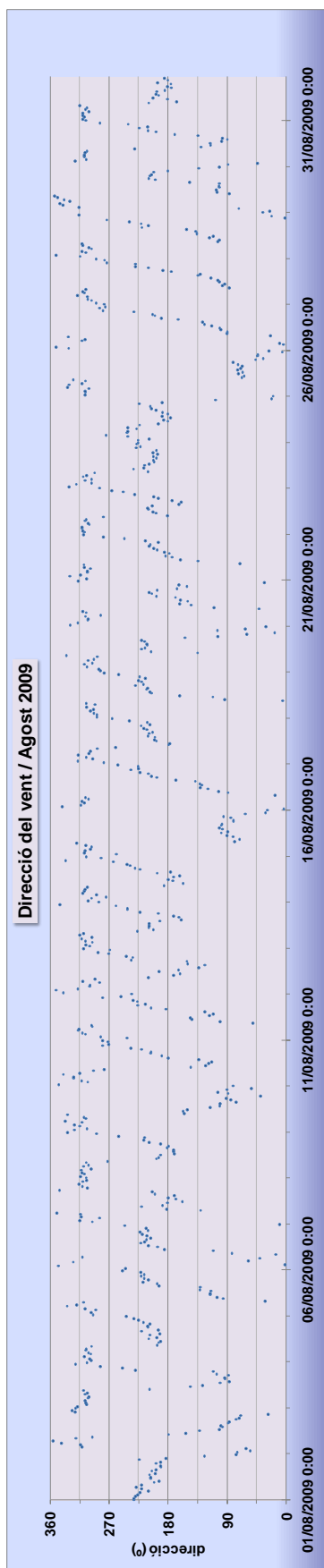


Fig. A2.93 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual agost 2009)

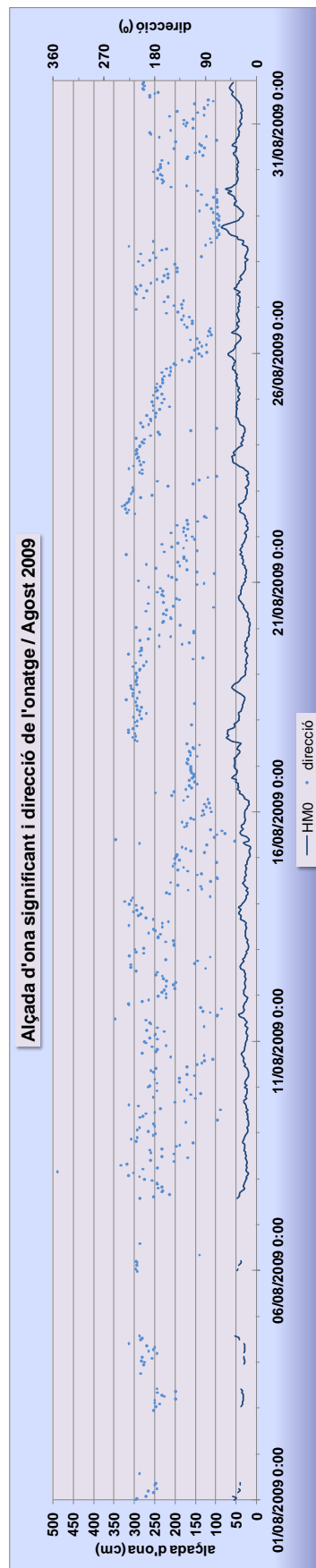


Fig. A2.94 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual agost 2009)

Setembre 2009

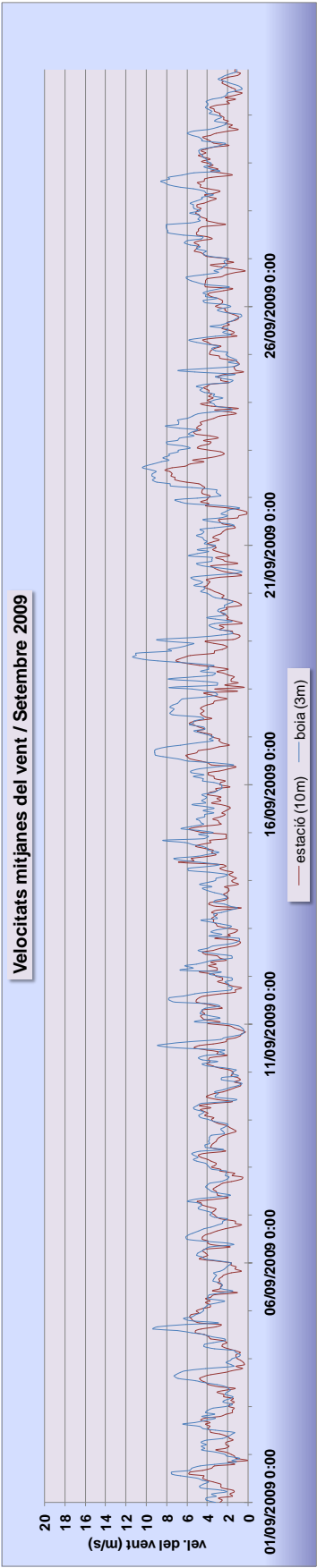


Fig. A2.95 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual setembre 2009)

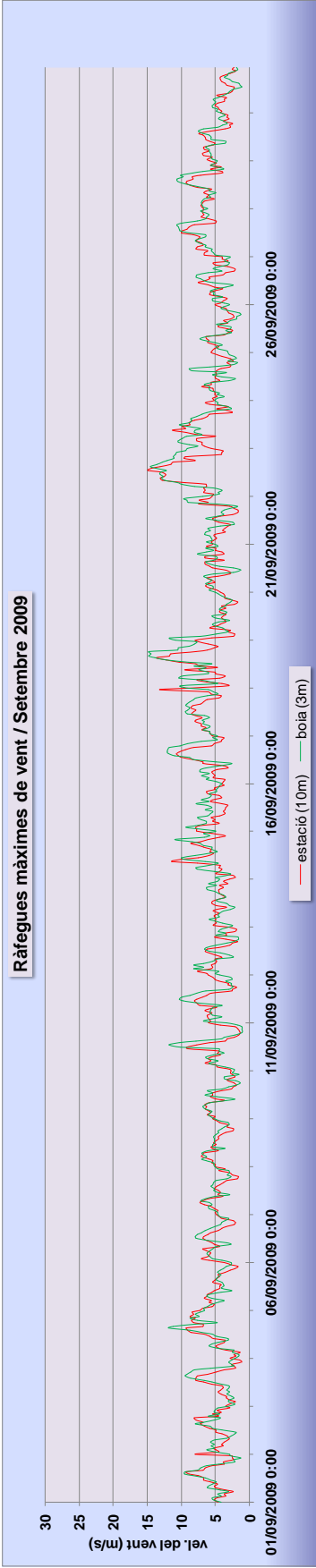


Fig. A2.96 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual setembre 2009)

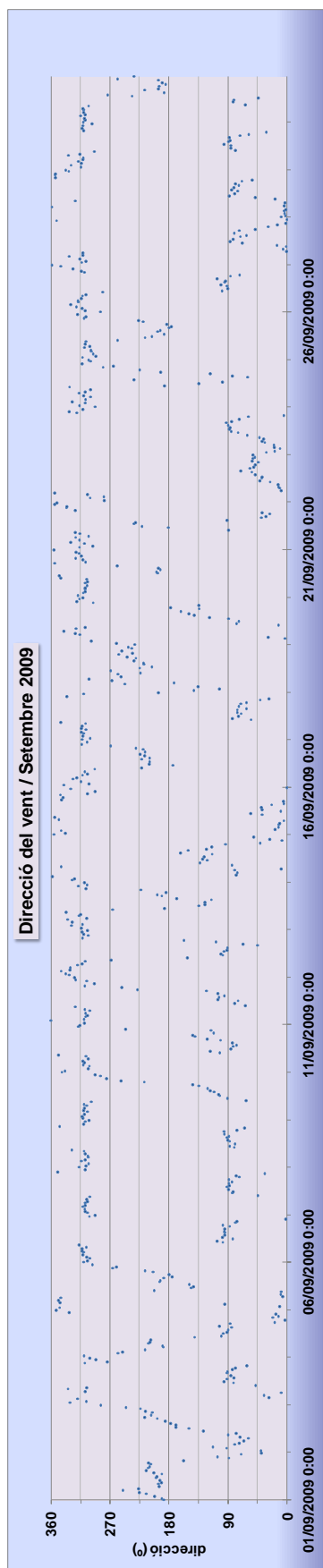


Fig. A2.97 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual setembre 2009)

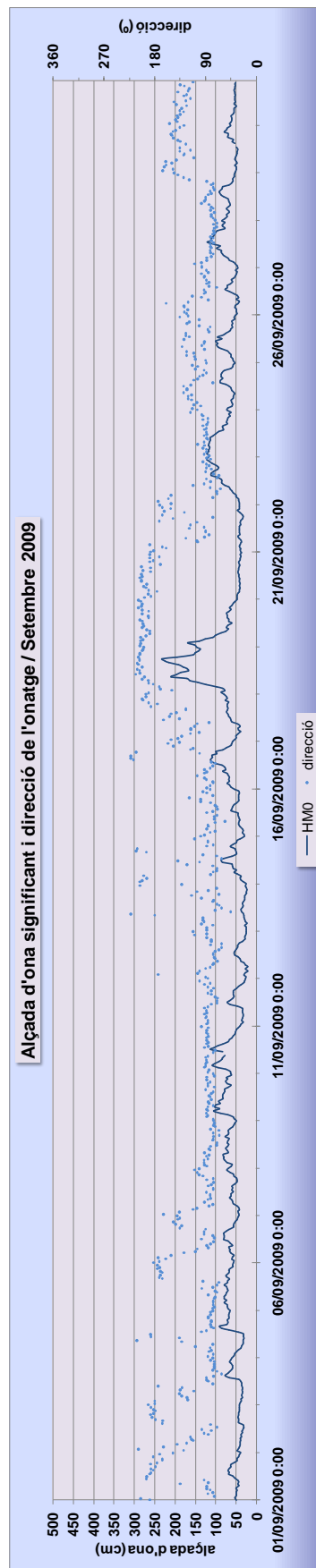


Fig. A2.98 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual setembre 2009)

Octubre 2008

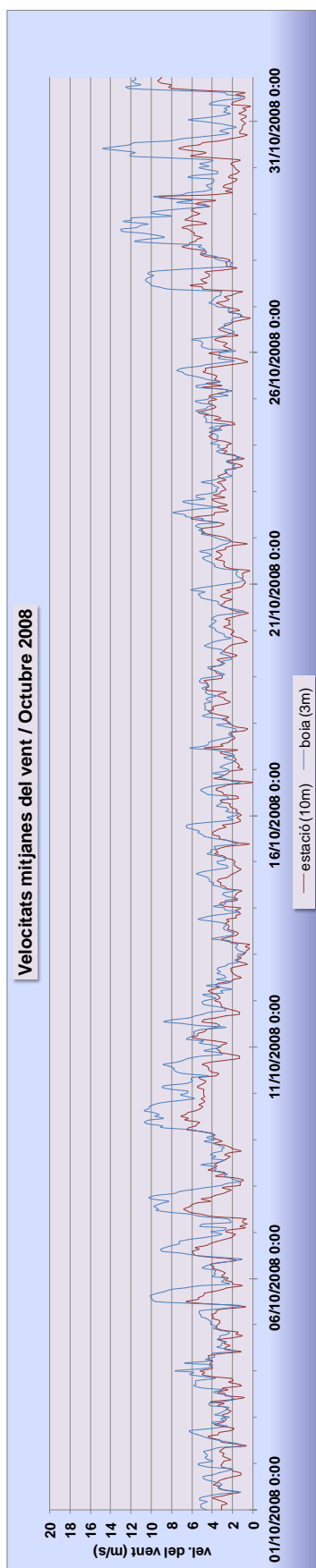


Fig. A2.99 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual octubre 2008)

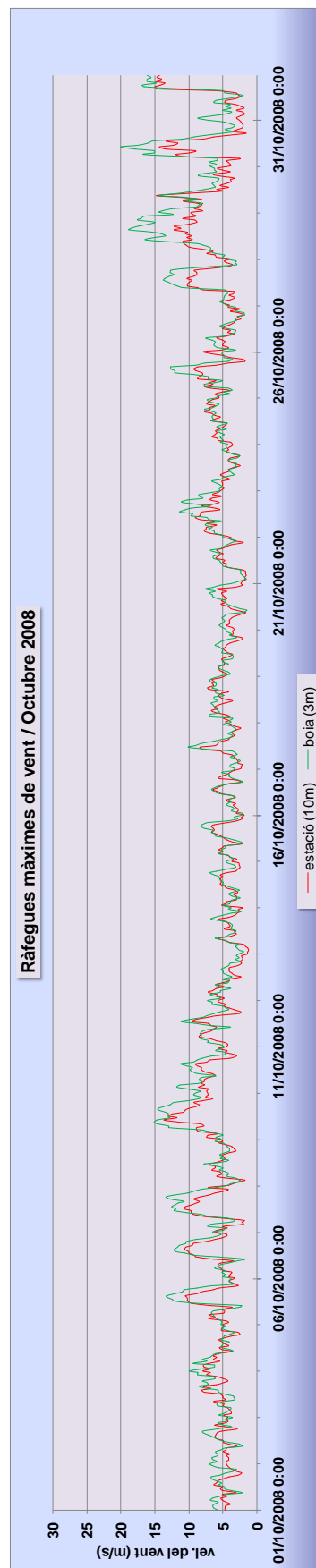


Fig. A2.100 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual octubre 2008)

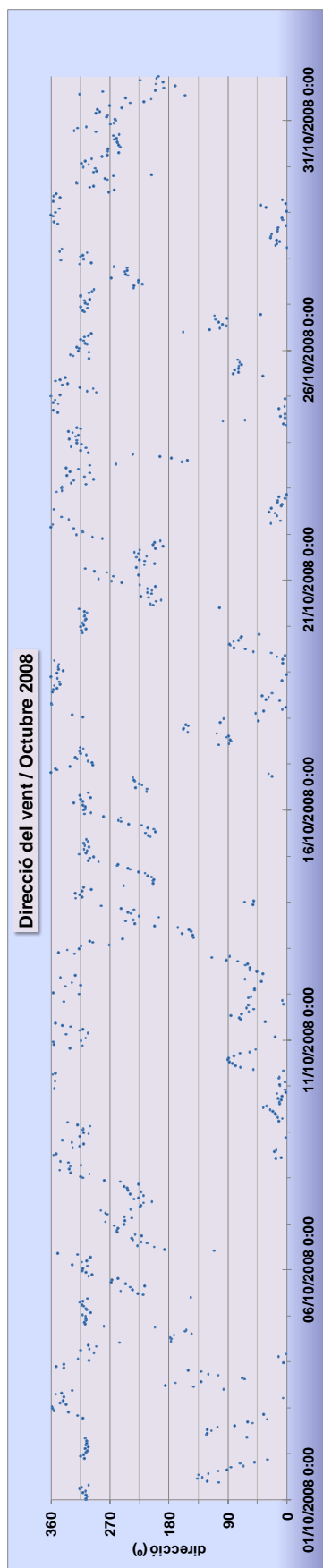


Fig. A2.101 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual octubre 2008)

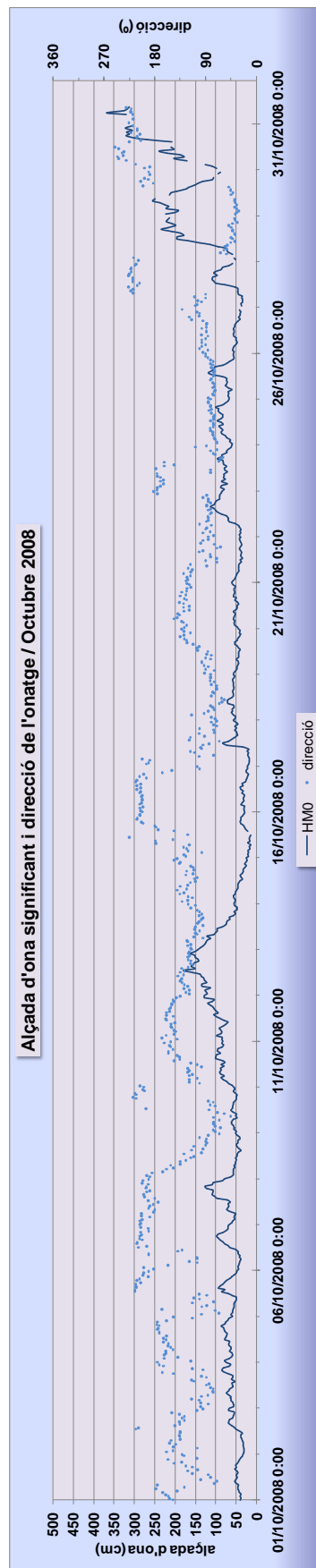


Fig. A2.102 Gràfica d'alçades d'ona significants i direccions d'onatge (sèrie anual octubre 2008)

Novembre 2008

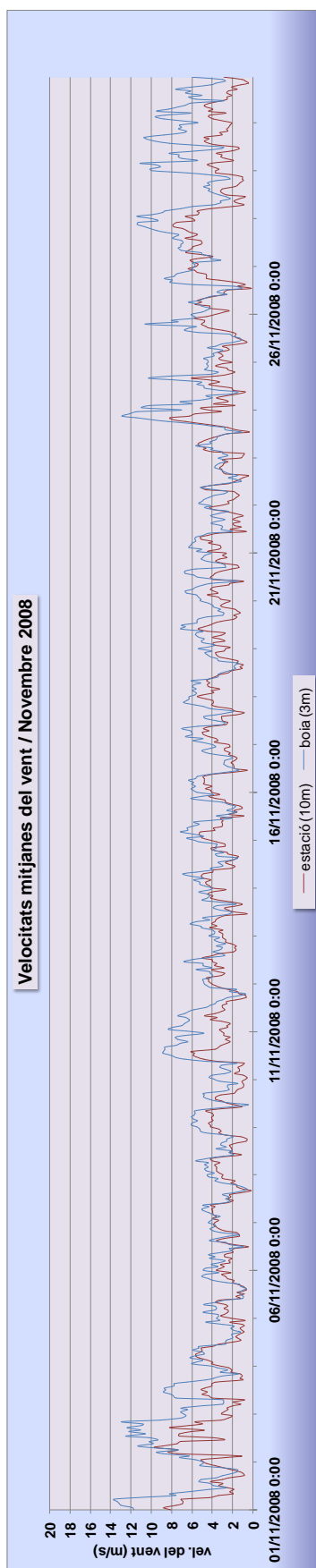


Fig. A2.103 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual novembre 2008)

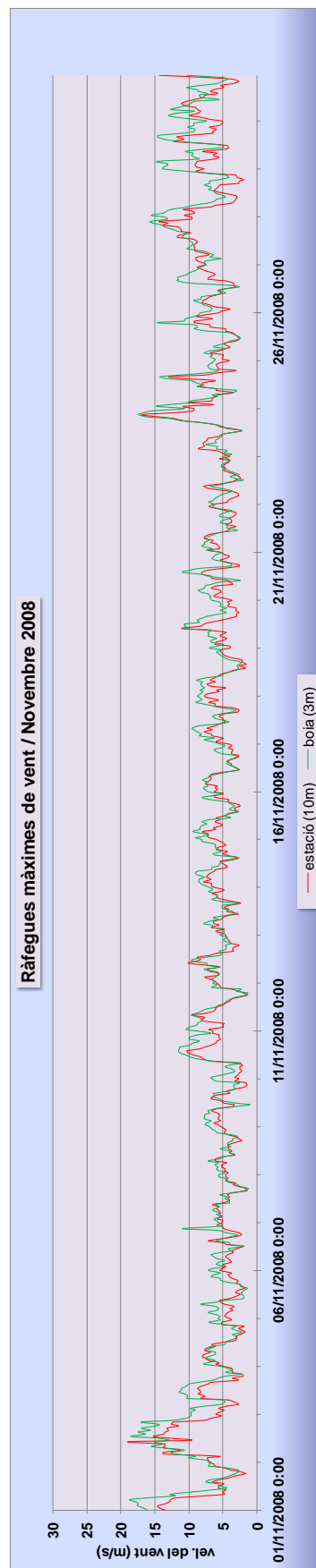


Fig. A2.104 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual novembre 2008)

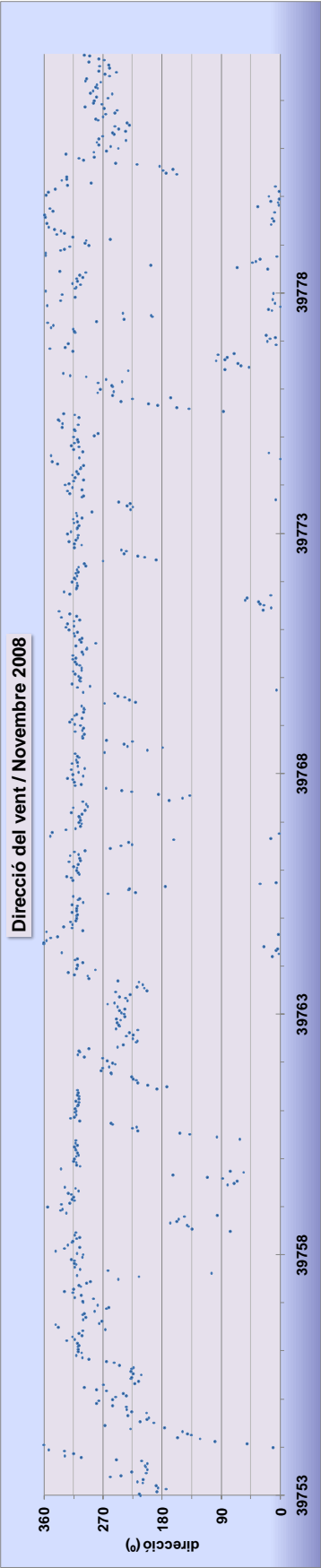


Fig. A2.105 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual novembre 2008)

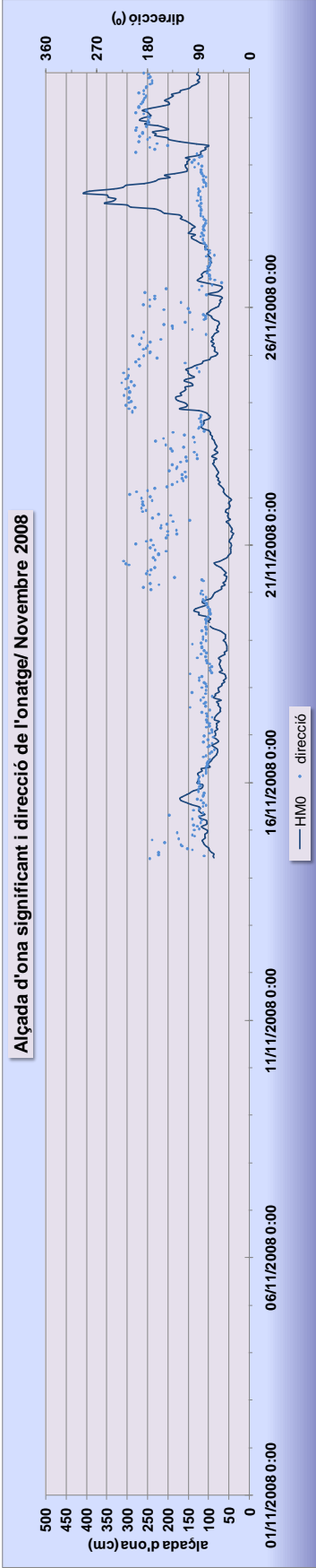


Fig. A2.106 Gràfica d'alçades d'ona significant i direccions d'onatge (sèrie anual novembre 2008)

Desembre 2008

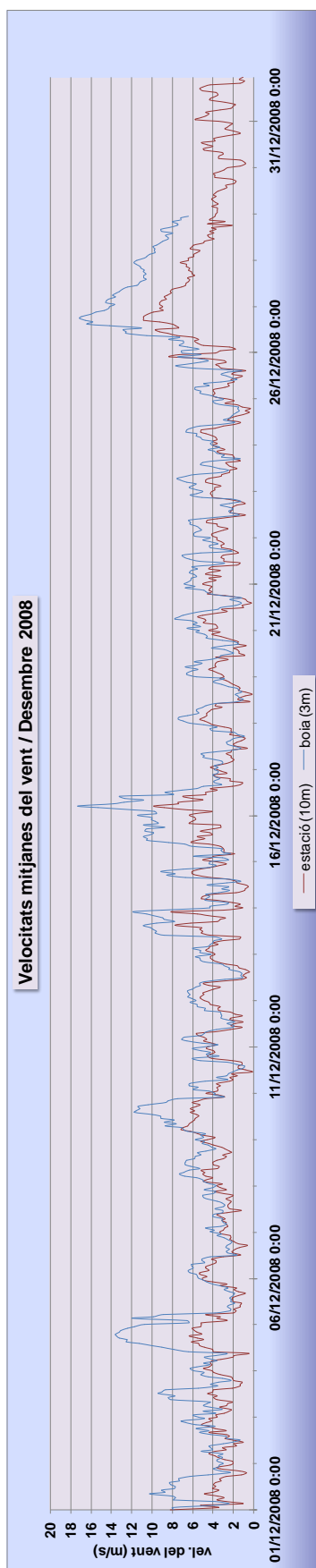


Fig. A2.107 Gràfica de velocitats mitjanes de vent (sèrie anual desembre 2008)

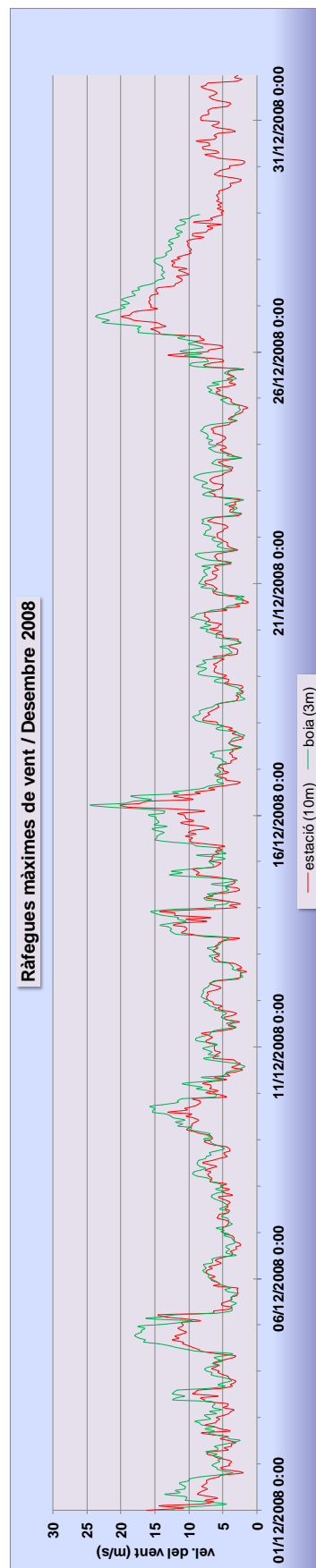


Fig. A2.108 Gràfica de ràfegues màximes de vent (sèrie anual desembre 2008)

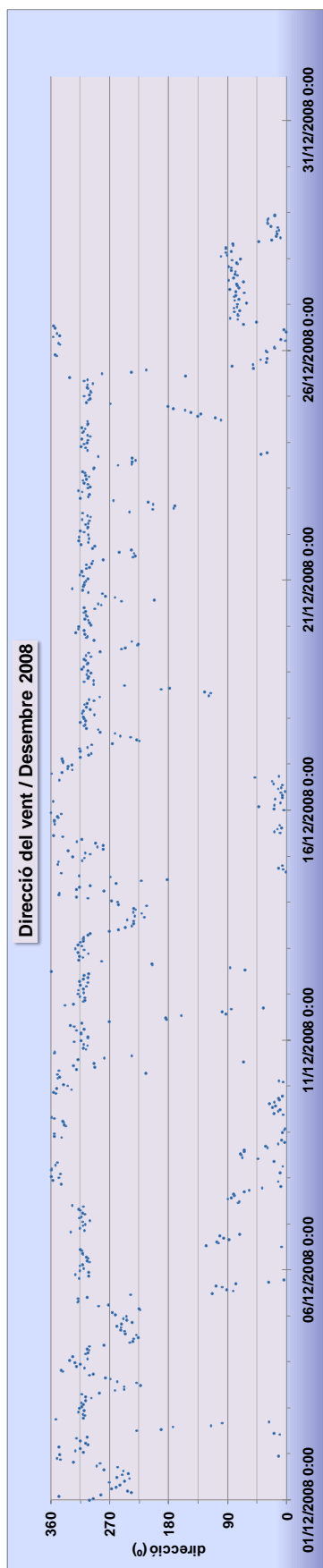


Fig. A2.109 Gràfica de direccions del vent (sèrie anual desembre 2008)

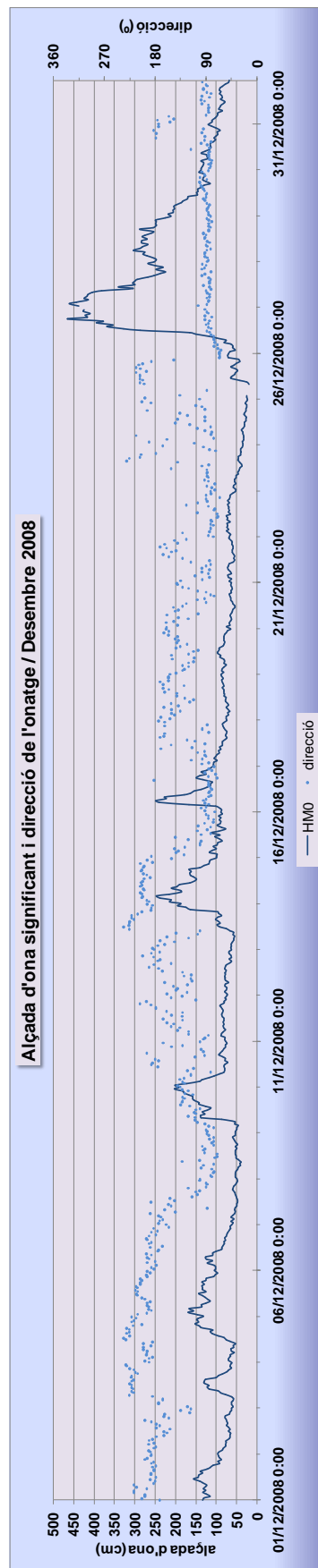


Fig. A2.110 Gràfica d'alçades d'ona significants i direccions d'ona (sèrie anual desembre 2008)

4. DETERMINACIÓ D'UNA FÓRMULA EMPÍRICA QUE PERMETI ESTIMAR ELS VENTS EN LA SUPERFÍCIE MARINA

Les gràfiques corresponents a aquest estudi s'estructuraran en funció de la procedència del vent segons s'ha definit en els apartats 4 i 5.3.4.

- Estudi dels vents de terral

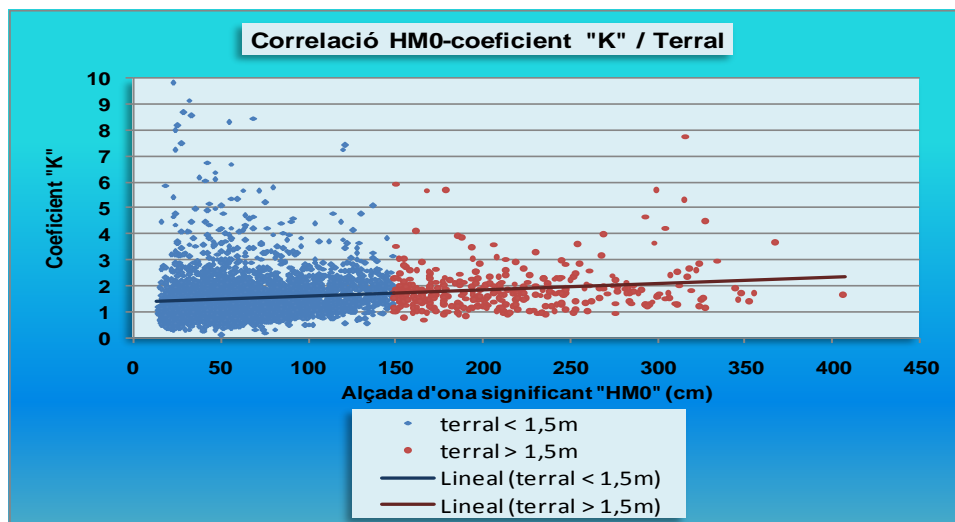


Fig. A2.111 Correlació entre HM0 i el paràmetre "K" separant en funció de HM0 (Terral)

Equacions de les rectes:

$$y = 0,002x + 1,373 \quad (R^2 = 0,003) \quad \text{quan } HM0 < 1,5m$$

$$y = 0,002x + 1,333 \quad (R^2 = 0,023) \quad \text{quan } HM0 > 1,5m$$

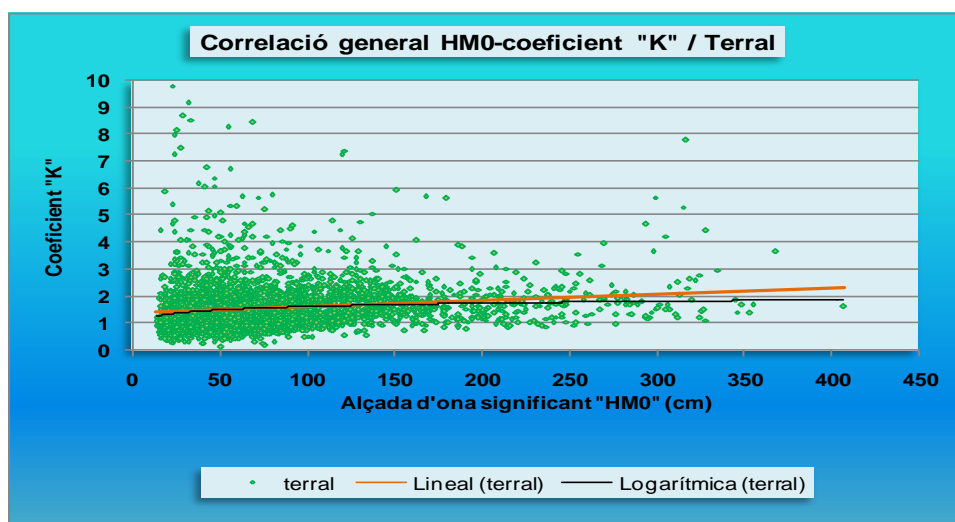


Fig. A2.112 Correlació entre HM0 i el paràmetre "K" (Terral)

Equació de la recta: $y = 0,002 + 1,379 \quad (R^2 = 0,010)$

Equació de la logarítmica: $y = 0,169 \ln x + 0,848 \quad (R^2 = 0,007)$

- Estudi de les brises

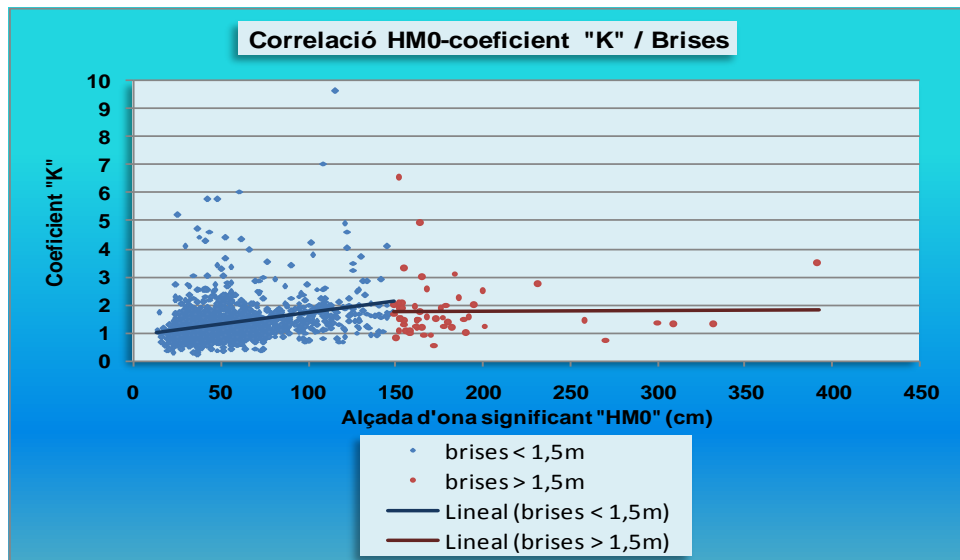


Fig. A2.113 Correlació entre HM0 i el paràmetre "K" separant en funció de HM0 (Brises)

Equacions de les rectes:

$$y = 0,07x + 0,927 \quad (R^2 = 0,042) \quad \text{quan } HM0 < 1,5m$$

$$y = 1,718 \quad \text{quan } HM0 > 1,5m$$

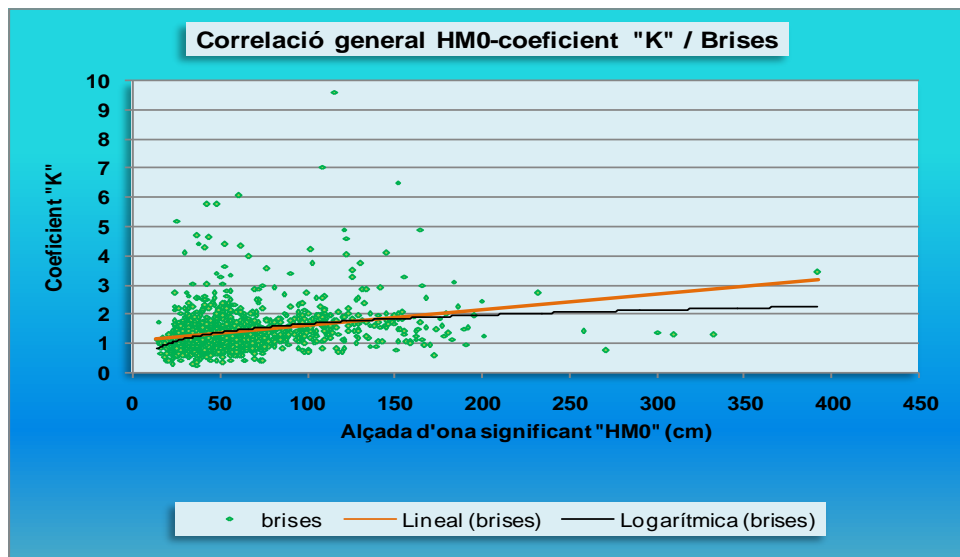


Fig. A2.114 Correlació entre HM0 i el paràmetre "K" (Brises)

Equació de la recta: $y = 0,005 + 1,060 \quad (R^2 = 0,036)$

Equació de la logarítmica: $y = 0,431 \ln x - 0,327 \quad (R^2 = 0,043)$

- Estudi dels vents de llevant

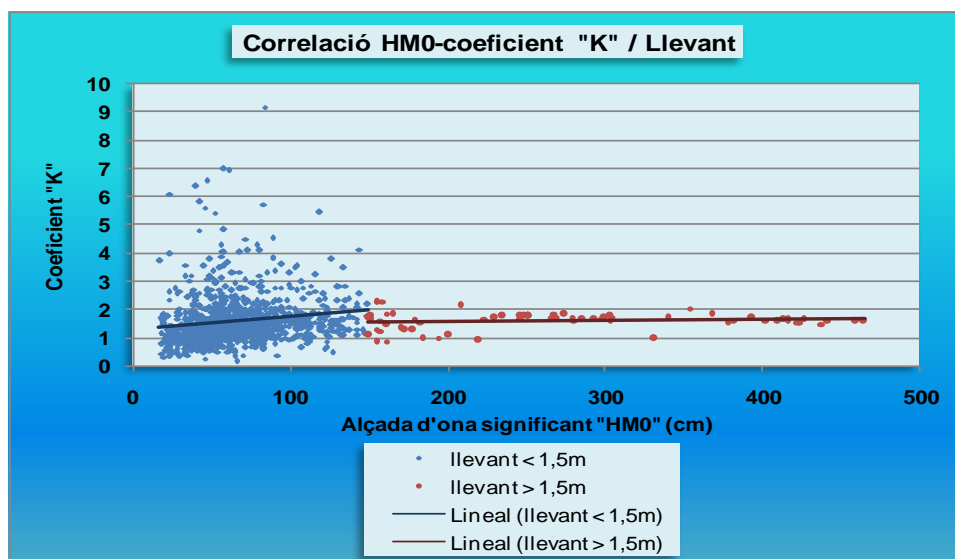


Fig. A2.115 Correlació entre HM0 i el paràmetre "K" separant en funció de HM0 (Llevant)

Equacions de les rectes:

$$y = 0,004x + 1,273 \quad (R^2 = 0,017) \quad \text{quan } HM0 < 1,5m$$

$$y = 1,515 \quad \text{quan } HM0 > 1,5m$$

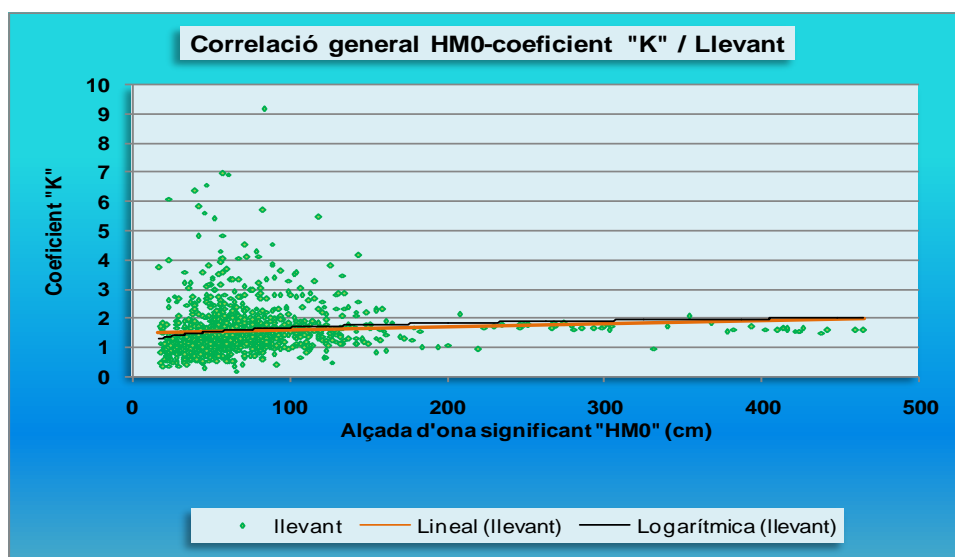


Fig. A2.116 Correlació entre HM0 i el paràmetre "K" (Llevant)

Equació de la recta: $y = 0,001 + 1,503 \quad (R^2 = 0,004)$

Equació de la logarítmica: $y = 0,209 \ln x - 0,709 \quad (R^2 = 0,013)$